

SKRIPSI – TK 141581

**STUDI PROPERTI *POLY (L-LACTIC ACID)* (PLLA) :
EFEK PENAMBAHAN JENIS *PLASTICIZER***

Oleh:

**Dian Amalia Widiasih
NRP. 02211546000024**

**Siska Mayangsari
NRP. 02211546000026**

**Dosen Pembimbing
Hikmatun Ni'mah, S.T., M.S., Ph.D
NIP. 1984 10 10 2009 12 2006**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



FINAL PROJECT – TK 141581

**PROPERTY STUDY OF *POLY (L-LACTIC ACID)* (PLLA) :
EFFECT OF PLASTICIZER TYPE ADDITION**

Proposed by:

Dian Amalia Widiasih

NRP. 02211546000024

Siska Mayangsari

NRP. 02211546000026

Advisor

Hikmatun Ni'mah, S.T., M.S., Ph.D

NIP. 1984 10 10 2009 12 2006

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

Studi Properti *Poly(L-Lactic Acid)* (PLLA) : Efek Penambahan Jenis *Plasticizer*

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Kimia
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Dian Amalia Widiasih

02211546000024

Siska Mayangsari

02211546000026

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Hikmatun Ni'mah, S.T., M.S., Ph.D.
(Pembimbing)
2. Dr. Ir. Sumarno, M.Eng.
(Penguji I)
3. Dr. Eva Oktavia Ningrum, S.T., M.S.
(Penguji II)
4. Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D.
(Penguji III)

.....
.....
.....
.....



Surabaya, Januari 2018

Studi Properti *Poly (L- lactic Acid) (PLLA)* : Efek Penambahan Jenis *Plasticizer*

Nama Mahasiswa/NRP : Dian Amalia Widiasih /
02211546000024
: Siska Mayangsari /
02211546000026
Jurusan : Teknik Kimia FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Hikmatun Ni'mah, S.T.,
M.S.,Ph.D

ABSTRAK

Poly(L-Lactic Acid) PLLA menjadi material pilihan pada aplikasi biomedik karena memenuhi sifat dasar yang dibutuhkan seperti biokompatibilitas, kekuatan mekanik dan mudah diproses, namun tingkat hidrofobnya rendah dan stabilitas thermal yang rendah. Dalam upaya meningkatkan sifat mekanik dan sifat thermal PLLA dilakukan dengan metode solvent blending. Modifikasi PLLA dengan plasticizer sebagai sarana untuk menurunkan Tg dan meningkatkan keelastisan dan kelunakan PLLA. *Plasticizer* yang digunakan adalah PEG200, PEG400 dan gliserol. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh perubahan *plasticizer* konten terhadap properti PLLA sehingga diketahui konsentrasi dan jenis *plasticizer* yang paling tepat untuk menghasilkan film dengan properti yang unggul, mempelajari pengaruh berat molekul plasticizer terhadap properti PLLA, serta mempelajari pengaruh modifikasi PLLA dengan MA ke properti PLLA dan campuran PLLA/*plasticizer*. Metode penelitian yang digunakan dibagi menjadi dua tahap, tahap pertama adalah pembuatan film dari PLLA/*Plazticizer*, mencampur PLLA dan *plasticizer* dengan kloroform sebagai pelarut. Memanaskan dan mengaduk campuran tersebut pada suhu 60°C dan kecepatan 200

rpm selama 6 jam menggunakan hotplate. Selanjutnya pencetakan film pada *petry dish* dan melakukan uji karakteristik hasil pencampuran PLLA/Plasticizer. Untuk tahap kedua adalah tahap pembuatan film dari PLLA-g-MA/Plasticizer, membuat kopolimer PLLA-g-MA dengan teknik grafting. Selanjutnya membuat Film PLLA-g-MA/Plasticizer dengan melarutkan PLLA-g-MA dan *plasticizer* dengan kloroform kemudian dipanaskan dan diaduk pada suhu 60°C dan kecepatan 200 rpm selama 6 jam menggunakan *hotplate*. Selanjutnya proses pencetakan film pada *petry dish* dan dilakukan uji FTIR, DMA, SEM XRD dan DSC. Dari hasil FTIR diketahui bahwa terjadi interaksi antara PLLA dan *Plasticizer*. Berdasarkan hasil analisa DSC pada penambahan *plasticizer* menurunkan nilai Tg dan Tm dari PLLA murni, nilai Tg pada campuran PLLA-g-MA relatif lebih rendah dibanding PLLA tanpa modifikasi MA. Berdasarkan analisa XRD terjadi kenaikan derajat kristalinitas seiring dengan banyaknya jumlah *plasticizer* yang ditambahkan, derajat kristalinitas tertinggi adalah film PLLA/PEG200 sebesar 42,544% dan PLLA-g-MA/PEG200 sebesar 45,66%. Berdasarkan hasil analisa SEM PLLA-g-MA/Plasticizer terlihat *Plasticizer* terdispersi lebih besar dan lebih baik dibandingkan film PLLA/Plasticizer. Dari penelitian didapatkan hasil bahwa semakin banyak penambahan *plasticizer*, *tensile strength* dan *modulus young* semakin rendah tetapi *elongation at break* mengalami kenaikan. Nilai optimum pada film PLLA/Plasticizer dengan *elongation at break* tertinggi adalah film PLLA/PEG200 sebesar 2,29% dan PLLA-g-MA/PEG200 sebesar 2,39%.

Kata Kunci : PLLA, Plasticizer, Film, Solvent Blending, Grafting

Property study of *Poly (L- lactic Acid) (PLLA)* : Effect of Plasticizer Type Addition

Name/NRP	: Dian Amalia Widiasih / 02211546000024
	: Siska Mayangsari / 02211546000026
Departement	: Teknik Kimia FTI-ITS
Advisor	: Hikmatun Ni'mah, S.T., M.S.,Ph.D

ABSTRACT

Poly(L-Lactic Acid) PLLA has become a “material of choice” in the biomedical application for its ability to fulfill complex needs that typically include properties such as biocompatibility, mechanical strength and processability but low hydrophobic level and low thermal stability. To modify mechanical and thermal property of PLLA using solvent blending method with chloroform as a plasticizer. PLLA modification with plasticizer was done decrease Tg and increase elasticity and softness of PLLA. The plasticizer used in this study were PEG 200, PEG 400 and glycerol. This research was conducted to study the effect of plasticizer content on PLLA properties to obtain the most appropriate concentration and type of plasticizer to produce the film with better properties, the influence of plasticizer molecule weight on PLLA properties. Investigated and observed the effect of PLLA modification with MA on PLLA properties and blend of PLLA/plasticizer. The research method was in this research was divided into two stages, the first stage is the synthesis of film from PLLA/Plasticizer by using chloroform as the solvent. Heated and stirred the mixture at 60°C and 200 rpm for 6 hours using the hotplate. The processed of printing films on

petry dish and test the characteristics of mixing results PLLA/Plasticizer. For the second stage is the filming stage of PLLA-g-MA/Plasticizer, first making PLLA-g-MA copolymer with grafting technique. Making of film from PLLA-g-MA/Plasticizer by using chloroform as the solvent. Heated and stirred the mixture at 60°C and 200 rpm for 6 hours using a hotplate. The process of printing films on petry dish and test the characteristics of mixing results PLLA-g-MA/Plasticizer. The obtained films were characterized using FTIR, DMA, SEM, XRD, and DSC. From the research, FTIR analysis indicated that it was an interaction between PLLA and plasticizer. Based on the results of DSC analysis, the addition of plasticizer reduced the value of Tg and Tm after pristine PLLA, the Tg value of PLLA-g-MA/Plasticizer was relatively lower than that of the PLLA/Plasticizer without MA modification. Based on the XRD analysis, the degree of crystallinity increased with the number of plasticizers added, the highest crystallinity was 42,544% the PLLA/PEG200 film and 45,66% for the PLLA-g-MA/PEG200 film. Based on the result of SEM analysis, the plasticizer was dispersed better in PLLA-g-MA matrix than in PLLA matrix without MA modification. Based on DMA analysis, it was found that more plasticizer will decrease the tensile strength and young modulus, but increased the elongation at break. The optimum value of elongation at break was 2,29% and 2,39% for the PLLA/PEG200 and PLLA-g-MA/PEG200 film.

Keyword : PLLA, Plasticizer, Film, Solvent blending, Grafting

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas karunia dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “**Studi Properti *Poly(L-Lactic Acid)* PLLA : Efek Penambahan Jenis *Plasticizer*”** dengan sebaik-baiknya sebagai salah satu tugas akhir di Teknik Kimia ITS.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Jurusan Teknik Kimia ITS, namun demikian penulis berharap laporan ini tak hanya sebagai pemenuh kewajiban tapi lebih dari itu akan bermanfaat khususnya bagi penulis sendiri dan umumnya bagi yang membaca terlebih pada bidang keteknikkimiaan dan aplikasinya dalam bidang industri.

Penulisan laporan ini dapat diselesaikan tidak lepas dari dukungan, bimbingan dan bantuan dari banyak pihak yang sangat berarti bagi penulis. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW.
2. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Kimia FTI-ITS .
3. Ibu Hikmatun Ni'mah ST., M.S., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing, yang telah meluangkan waktu dan pikirannya untuk memberikan bimbingan kepada kami.
4. Bapak Dr. Ir. Sumarno, M.Eng. selaku Kepala Laboratorium Teknologi Material.
5. Ibu Dr. Lailatul Qadariyah, S.T., M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
6. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar yang telah memberikan ilmu serta bimbingannya dan seluruh karyawan Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
7. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan kasih sayang tulus, motivasi, bimbingan dan doa.

8. Rekan-rekan mahasiswa Laboratorium Teknologi Material Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
9. Teman - teman LJ Genap 2015 Teknik Kimia FTI-ITS yang selalu memberi semangat dan dukungan.
10. Serta semua pihak lainnya yang tidak bisa disebutkan penulis satu persatu yang telah membantu selama penulisan laporan.

Penulis menyadari bahwa laporan Skripsi ini masih terdapat kekurangan oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan oleh penulis.

Akhir kata kami selaku penulis memohon maaf kepada semua pihak, apabila dalam penyusunan laporan ini terdapat kesalahan. Semoga laporan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi pembaca pada umumnya.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan dan Pembatasan Masalah.....	4
I.3 Tujuan	5
I.4 Manfaat Penelitian	5
BAB II . TINJAUAN PUSTAKA	7
II.1 Poly Lactic Acid (PLA).....	7
II.2 Modifikasi Poly Lactic Acid (PLA)	10
II.3 <i>Plasticizer</i>	12
II.3.1 Gliserol.....	13
II.3.2 Poly Ethylene Glycol (PEG)	14
II.4 Miscibility PLLA dan PEG	15
II.5 Proses Grafting Kopolimer.....	16
II.5.1 <i>Maleic Anhydride</i>	18
II.5.2 <i>Benzoil Peroxide</i>	19
II.6 Aplikasi Pencampuran PLLA.....	19
II.7 Karakterisasi <i>Film PLLA-Plasticizer</i>	20
II.8 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya	24
BAB III. METODE PENELITIAN	29
III.1 Bahan yang Digunakan	29
III.2 Skema Peralatan Penelitian	30
III.2.1 Pembuatan <i>Film PLLA/Plasticizer</i>	30
III.2.2 Pembuatan <i>Film</i> dengan Penambahan PLLA-g-MA.....	31

III.2.2.1 Pembuatan Kopolimer PLLA-g-MA	31
III.2.2.2 Pembuatan <i>Film</i> dengan Penambahan PLLA-g-MA	32
III.3 Variabel Penelitian	32
III.4 Prosedur Penelitian	32
III.4.1 Pembuatan <i>Film</i> PLLA/ <i>Plasticizer</i>	32
III.4.2 Pembuatan <i>Film</i> dengan Penambahan PLLA-g-MA	33
III.4.2.1 Pembuatan PLLA-g-MA	33
III.4.2.2 Pembuatan <i>Film</i> dengan Penambahan PLLA-g-MA	33
III.4.3 Karakterisasi <i>Film</i>	34
III.5. Blok Diagram Penelitian	36
III.5.1 Pembuatan <i>Film</i> PLLA/ <i>Plasticizer</i>	36
III.5.2 Pembuatan <i>Film</i> PLLA-g-MA/ <i>Plasticizer</i>	37
III.5.2.1 Pembuatan PLLA-g-MA	37
III.5.2.2 Pembuatan <i>Film</i> PLLA-g-MA/ <i>Plasticizer</i>	38
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	40
IV.1 Pengaruh Penambahan Jenis <i>Plasticizer</i> Pada Interaksi Molekul	40
IV.2 Pengaruh Penambahan Jenis <i>Plasticizer</i> Pada Sifat Thermal PLLA	46
IV.3 Pengaruh Penambahan Jenis <i>Plasticizer</i> Terhadap Kristalinitas PLLA	50
IV.4 Pengaruh Penambahan Jenis <i>Plasticizer</i> Pada Morfologi PLLA	57
IV.5 Pengaruh Penambahan Jenis <i>Plasticizer</i> Pada Properti Mekanik <i>Film</i>	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	77
V.1 Kesimpulan	77
V.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	xiv
DAFTAR NOTASI	xvii
APPENDIKS	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Isomer PLLA	8
Gambar II.2 Rumus Molekul Gliserol	13
Gambar II.3 Struktur Poly Ethylene Glycol.....	14
Gambar II.4 Data Properti Oligomer PEG	15
Gambar II.5 Mekanisme Pencangkokan PLLA-g-MA	18
Gambar II.6 Rumus Molekul Maleic Anhydride	19
Gambar II.7 Skema Peralatan Analisa SEM	20
Gambar II.8 Blok Diagram DMA	22
Gambar III.1 Skema Alat Pembuatan <i>Film PLLA/Plasticizer</i>	30
Gambar III.2 Skema Alat Pembuatan PLLA-g-MA	31
Gambar III.3 Skema Alat Pembuatan <i>Film PLLA-g-MA/</i> <i>Plasticizer</i>	32
Gambar IV.1 Hasil analisa FT-IR (<i>Fourier Transform Infra- Red Spectrofotometry</i>) <i>Film PLLA/PEG200</i> Variabel (100/0); (95/5); (90/10); (85/15); (80/20).....	41
Gambar IV.2 Hasil analisa FT-IR (<i>Fourier Transform Infra- Red Spectrofotometry</i>) <i>Film PLLA/PEG400</i> Variabel (100/0); (95/5); (90/10); (85/15); (80/20).....	43
Gambar IV.3 Hasil analisa FT-IR (<i>Fourier Transform Infra- Red Spectrofotometry</i>) <i>Film PLLA/Gliserol</i> Variabel (100/0); (95/5); (90/10); (85/15); (80/20).....	44
Gambar IV.4 Hasil analisa FT-IR (<i>Fourier Transform Infra- Red Spectrofotometry</i>) <i>Film PLLA-g-MA/</i> <i>Plasticizer</i> (a) PLLA murni dan PLLA-g-MA; (b) PLLA/PEG200 (80/20) dan PLLA-g-MA/ PEG200 (80/20); (c) PLLA/PEG400 (80/20) dan PLLA-g-MA/PEG400 (80/20); (d) PLLA/ Gliserol (80/20) dan PLLA-g-MA/Gliserol (80/20).....	46

Gambar IV.5 Kurva DSC dari PLLA Murni dan PLLA/ <i>Plasticizer</i> (80/20).....	48
Gambar IV.6 Kurva DSC dari PLLA-g-MA Murni dan PLLA-g-MA/ <i>Plasticizer</i> (80/20)	49
Gambar IV.7 Hasil analisa X-Ray <i>Diffraction</i> yang Menunjukkan Nilai Kristalinitas <i>Film</i> PLLA/PEG200 variabel 95/5; 90/10; 85/15; 80/20	51
Gambar IV.8 Hasil analisa X-Ray <i>Diffraction</i> yang Menunjukkan Nilai Kristalinitas <i>Film</i> PLLA/PEG400 variabel 95/5; 90/10; 85/15; 80/20	53
Gambar IV.9 Hasil analisa X-Ray <i>Diffraction</i> yang Menunjukkan Nilai Kristalinitas <i>Film</i> PLLA/Gliserol variabel 95/5; 90/10; 85/15; 80/20	54
Gambar IV.10 Hasil analisa X-Ray <i>Diffraction</i> yang Menunjukkan Nilai Kristalinitas <i>Film</i>	56
Gambar IV.11 Hasil analisa SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) <i>Film</i> PLLA Murni (a) Permukaan PLLA Murni; (b) Patahan PLLA Murni	57
Gambar IV.12 Hasil analisa SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) <i>Film</i> dengan Variabel (a) Permukaan PLLA/PEG200 (90/10); (b) Patahan PLLA/PEG200 (90/10); (c) Permukaan PLLA/PEG200 (80/20); (d) Patahan PLLA/PEG200 (80/20);	58
Gambar IV.13 Hasil analisa SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) <i>Film</i> dengan Variabel (a) Permukaan PLLA/PEG400 (90/10); (b) Patahan PLLA/PEG400 (90/10); (c) Permukaan PLLA/PEG400 (80/20); (d) Patahan PLLA/PEG400 (80/20);	59
Gambar IV.14 Hasil analisa SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) <i>Film</i> dengan Variabel	

	(a) Permukaan PLLA/Gliserol (90/10);	
	(b) Patahan PLLA/Gliserol (90/10);	
	(c) Permukaan PLLA/Gliserol (80/20);	
	(d) Patahan PLLA/Gliserol (80/20);.....	60
Gambar IV.15	Hasil analisa SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) Film dengan Variabel	
	(a) Permukaan PLLA-g-MA	
	(b) Patahan PLLA-g-MA	
	(c) Permukaan PLLA-g-MA/PEG200 (80/20);	
	(d) Patahan PLLA-g-MA/PEG200 (80/20);	
	(e) Permukaan PLLA-g-MA/PEG400 (80/20);	
	(f) Patahan PLLA-g-MA/PEG400 (80/20);	
	(g) Permukaan PLLA-g-MA/Gliserol (80/20);	
	(h) Patahan PLLA-g-MA/Gliserol (80/20);.....	63
Gambar IV.16	<i>Tensile Strength & Elongation At Break</i>	
	PLLA/PEG200 Variabel 100/0; 95/5; 90/10	
	85/15; 80/20.....	65
Gambar IV.17	<i>Modulus Young Film</i> PLLA/PEG200	
	Variabel 100/0; 95/5; 90/10; 85/15; 80/20	65
Gambar IV.18	<i>Tensile Strength & Elongation At Break</i>	
	PLLA/PEG400 Variabel 100/0; 95/5; 90/10	
	85/15; 80/20.....	67
Gambar IV.19	<i>Modulus Young Film</i> PLLA/PEG400	
	Variabel 100/0; 95/5; 90/10; 85/15; 80/20	68
Gambar IV.20	<i>Tensile Strength & Elongation At Break</i>	
	PLLA/Gliserol Variabel 100/0; 95/5; 90/10	
	85/15; 80/20.....	70
Gambar IV.21	<i>Modulus Young Film</i> PLLA/Gliserol	
	Variabel 100/0; 95/5; 90/10; 85/15; 80/20	70
Gambar IV.22	<i>Tensile Strength</i> Pembuatan Film PLLA/ <i>Plasticizer</i> dengan Modifikasi dan Tanpa Modifikasi untuk PLLA Murni dan PLLA/ <i>Plasticizer</i> (80/20)	72
Gambar IV.23	<i>Elongation At Break</i> Pembuatan Film PLLA/ <i>Plasticizer</i> dengan Modifikasi dan Tanpa	

	Modifikasi untuk PLLA Murni dan PLLA/ <i>Plasticizer</i> (80/20)	73
Gambar IV.24	<i>Modulus Young</i> Pembuatan <i>Film</i> PLLA/ <i>Plasticizer</i> dengan Modifikasi dan Tanpa Modifikasi untuk PLLA Murni dan PLLA/ <i>Plasticizer</i> (80/20)	74

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Sifat Fisik Polimer PLA	9
Tabel II.2. Teknik <i>Blending</i>	11
Tabel IV.1 Efek Penambahan Jenis <i>Plasticizer</i> Terhadap Properti Thermal dar Campuran PLLA/ <i>Plasticizer</i> dan PLLA-g-MA/ <i>Plasticizer</i>	50
Tabel IV.2 Hasil Perhitungan Kristalinitas <i>Film</i> PLLA/ PEG200	52
Tabel IV.3 Hasil Perhitungan Kristalinitas <i>Film</i> PLLA/ PEG400	53
Tabel IV.4 Hasil Perhitungan Kristalinitas <i>Film</i> PLLA/ Gliserol	55
Tabel IV.5 Hasil Perhitungan Kristalinitas <i>Film</i> PLLA- g-MA dengan <i>Plasticizer</i>	56
Tabel IV.6 Properti Mekanik <i>Film</i> PLLA/PEG200	66
Tabel IV.7 Properti Mekanik <i>Film</i> PLLA/PEG400	68
Tabel IV.8 Properti Mekanik <i>Film</i> PLLA/Gliserol	71
Tabel IV.9 Properti Mekanik <i>Film</i> PLLA/ <i>Plasticizer</i>	75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

PLA adalah biopolimer yang menjanjikan dan dapat digunakan untuk aplikasi biomedik. Penggunaan bahan yang dapat terdegradasi untuk implan medis telah sangat diminati selama bertahun-tahun. Rusak atau tidak berfungsinya jaringan atau organ menjadi dasar untuk pengembangan biomaterial dan teknik baru untuk sintesisnya. Diantara berbagai biopolimer yang digunakan, PLA secara signifikan telah menarik perhatian. PLA menjadi "*material of choice*" dalam aplikasi biomedis karena kemampuannya untuk memenuhi kebutuhan kompleks yang biasanya mencakup sifat seperti biokompatibilitas, biodegradabilitas, kekuatan mekanik dan kemampuan proses. Adapun jenis PLA yang umum digunakan adalah *Poly(L-Lactic acid)* (PLLA) sebagai bahan *biodegradable* yang mempunyai sifat mekanik yang bagus dan sifat biokompatibilitas yang bagus, namun tingkat hidrofobnya rendah dan stabilitas thermal yang rendah. PLLA memiliki beberapa kekurangan sehingga dapat membatasi penggunaannya. Untuk itu bahan tersebut perlu dipadukan dengan material lain untuk memperbaiki kekurangannya. Memadukan PLLA dengan material lain merupakan pilihan yang tepat untuk meningkatkan propertinya atau menghasilkan properti baru untuk suatu target aplikasi tanpa perlu mengembangkan material baru. Berbagai campuran PLLA telah dieksplorasi untuk aplikasi biomedis seperti *drug delivery*, implan, benang jahitan operasi dan *tissue engineering* (Saini dkk, 2016).

Cara paling sederhana untuk memperbaiki kekurangan dari properti PLLA adalah dengan penambahan material lain untuk memperbaiki stabilitas thermal dan dapat menambah sifat mekanik campuran, salah satunya dengan penambahan *plasticizer* untuk meningkatkan fleksibilitas dan kekuatan dari PLLA. Metode pencampuran (*blending*), baik dengan menggunakan

pelarut maupun dengan pelelehan, merupakan metode yang cukup sederhana dan mudah apabila dibandingkan dengan metode polimerisasi pembentukan kopolimer. Dalam proses blending dua komponen atau lebih, terkadang permasalahan kurangnya kompatibilitas antar kedua atau lebih material perlu diperhatikan. Beberapa cara untuk mengatasi masalah tersebut antara lain dengan teknik grafting untuk menggabungkan semua komponen atau untuk memodifikasi permukaan salah satu atau semua komponen. Penambahan compatibilizer juga dapat dilakukan untuk meningkatkan kompatibilitas antar kedua komponen atau lebih. Teknik grafting telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang aplikasi antara lain untuk mengubah sifat-sifat polimer induk dengan tujuan seperti untuk meningkatkan kekuatan adhesif polimer (Song dkk, 2006), biodegradasi polimer (Hendri dkk, 2008), memberikan sifat kepekaan polimer terhadap perubahan suhu dan pH (Bromberg dkk, 2006), sifat hidrofilik sebagai superadsorben (Lanthonget dkk, 2006), memberikan sifat penghantar proton sebagai membrane sel bahan bakar (Christinadkk, 2008), dan sifat penukar ion (Zhang, 2009).

Penelitian sebelumnya di laboratorium kami mengenai pembuatan dan karakterisasi material biokomposit PLLA yang tersusun atas PLLA/mikrokristalin selulosa (MCC) dan PLLA/selulosa fiber dari jerami padi menunjukkan kenaikan stabilitas terhadap suhu. Akan tetapi sifat mekanik mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan karena kurangnya adhesi antara PLLA dan selulosa (Mayang dkk, 2015 dan Chandra dkk, 2016). Pada penelitian sebelumnya tersebut belum diteliti bagaimana performa/kinerja material biokomposit tersebut apabila diaplikasikan dalam bidang biomedik atau lingkungan. Seperti yang sudah pernah dilaporkan oleh Domingues dkk (2014) bahwa PLLA dan Selulosa dapat diaplikasikan sebagai material dalam *tissue engineering* karena mempunyai sifat *biodegradable* dan *biocompatible*.

Frydrych, dkk (2015) melaporkan PGS/PLLA memberikan mikrostruktur berpori yang menguntungkan,

karakteristik hidrofilik yang baik, dan sifat mekanik yang tepat untuk aplikasi jaringan lunak. Penelitian ini menunjukkan bahwa struktur PGS / PLLA memiliki potensi untuk aplikasi dalam rekayasa jaringan adipose. Dalam paper ini Frydrych, dkk. menggunakan poli (glycerol sebacate) sebagai bahan pelunak dalam pembuatan campuran biometik.

Sungsanit dkk (2011) melakukan penelitian tentang properti PLLA/PEG blend menggunakan PEG dengan berat molekul 1000. Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan plasticizer mempengaruhi nilai kristalinitas, semakin banyak plasticizer kristalinitas semakin naik yang diikuti oleh penurunan Tg. PLA yang telah ditambahkan plasticizer mempunyai viskositas rendah dan lebih elastis dibandingkan PLA tanpa plasticizer. Namun penelitian ini tidak menyebutkan potensi aplikasi biomedik.

Wang dkk (2012) melakukan penelitian tentang investigasi sistematis dari properti mekanik dan biokompatibel komposit CA dengan PLA dimana sebelumnya maleic anhydride (MA) dicangkokkan pada PLA. Dilakukan pencangkokan MA pada PLA dengan tujuan memodifikasi PLA agar lebih kompatibel dengan komposit CA. Hasil analisa FTIR dan NMR menunjukkan bahwa pembentukan ester dari reaksi antara OH dan carboxyl di PLLA-g-MA secara signifikan mengubah struktur material komposit. Hasil morfologi komposit PLLA-g-MA/CA konsisten dengan adhesi yang baik antara CA dan matriks PLLA-g-MA. Pada uji mekanik, komposit properti mekanik pencangkokan MA meningkat terutama kuat tariknya. Hasil uji SEM menunjukkan PLLA-g-MA/CA composite memiliki properti mekanik dan biokompatibel yang lebih bagus.

Pada penelitian ini ditambahkan *plasticizer* pada PLLA untuk memperbaiki properti PLLA, antara lain meningkatkan fleksibilitas dan kekuatan PLLA. Dipilih *plasticizer* yang *miscible*, *biocompatible* dan *biodegradable*. *Plasticizer* yang digunakan adalah *Poly(Ethylene Glycol)* (PEG) dengan BM rendah 200 dan 400 dan Gliserol. Alasan digunakannya PEG200

dan PEG400 serta Gliserol adalah menurut Knop dkk, (2010) PEG BM rendah cocok untuk diaplikasikan pada biomedik, penelitian tentang PLLA/PEG BM rendah belum ada sehingga perlu dilakukan. Penelitian sebelumnya digunakan PGS untuk aplikasi biomedik, untuk PLLA/Gliserol belum pernah dilakukan. Pada penelitian ini, juga diteliti pengaruh modifikasi PLLA dengan MA (*Maleic Anhidryde*) terhadap properti PLLA dan campuran PLLA/*Plasticizer*. Variasi PLLA-g-MA diharapkan dapat meningkatkan interaksi antara PLLA dan *Plasticizer* sehingga menghasilkan film yang kompatibel dengan sifat mekanik yang baik. *Plasticizer* adalah bahan tambahan/additif yang meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan dari suatu material. *Plasticizer* digunakan tiap tahun dalam jumlah banyak untuk memproduksi plastik, bahan pelapis/*coating*, film, dan filamen untuk aplikasi di berbagai industri, seperti automotif, kesehatan dan barang konsumsi lainnya.

1.2 Perumusan dan Pembatasan Masalah

1.2.1 Perumusan Masalah

Salah satu cara meningkatkan properti dari PLLA adalah dengan pencampuran PLLA dengan material lain. Penelitian tentang sintesa dan karakterisasi sistem PLLA-*plasticizer* belum banyak dilakukan. *Poly(ethylene glycol)* 200 (PEG200), *Poly(ethylene glycol)* 400 (PEG400) dan Gliserol dipercaya merupakan *plasticizer* yang memiliki kelebihan yang akan memberikan efek terhadap properti PLLA apabila ditambahkan dalam PLLA matriks. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang pembuatan dan karakterisasi sistem PLLA-*plasticizer*. Karakterisasi meliputi investigasi tentang sifat mekanis, sifat termal, fenomena kristalinitas, interaksi molekular dan morfologi film.

1.2.2 Pembatasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- *Plasticizer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Poly(ethylene glycol) 200 (PEG200)*, *Poly(ethylene glycol) 400 (PEG400)* dan Gliserol
- Proses *blending* antara PLLA dan *plasticizer* dilakukan dengan menggunakan metode *solvent blending* dimana menggunakan kloroform sebagai *solvent*.
- Proses modifikasi PLLA-g-MA dilakukan dengan menggunakan pelarut toluen.
- Bahan polimer matriks yang digunakan adalah *poly(L-lactide acid)* (PLLA) dengan 98% L.
- Karakterisasi sifat mekanis, morfologi dan kristalinitas biokomposit film dilakukan pada suhu kamar.

I.3 Tujuan

- Mempelajari pengaruh penambahan *plasticizer* dan jenis *plasticizer* terhadap properti PLLA sehingga dapat diketahui konsentrasi dan jenis *plasticizer* yang paling tepat untuk menghasilkan film dengan properti yang unggul.
- Mempelajari pengaruh berat molekul *plasticizer* terhadap properti PLLA.
- Mempelajari pengaruh modifikasi PLLA dengan MA ke properti PLLA dan campuran PLLA-g-MA/*Plasticizer*

I.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi tambahan data referensi untuk peneliti dan penelitian lainnya tentang pengaruh penambahan *plasticizer* terhadap properti PLLA yang diharapkan dapat digunakan dalam beberapa aplikasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

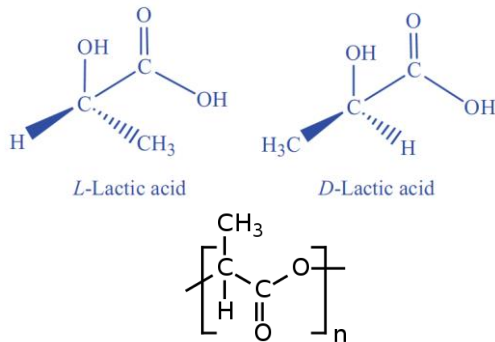
TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Poly Lactic Acid (PLA)

Poli asam laktat menjadi kandidat yang menjanjikan sebagai bahan alam terbaru (*renewable sources*) untuk pembuatan plastik. Penggunaan PLA sebagai bahan pembuat plastik tentu saja akan mengurangi masalah yang diakibatkan oleh sampah plastik berbahan petroleum. PLA diperoleh dari polimerisasi asam laktat, sedangkan asam laktat dapat diproduksi dari proses enzimatik atau kimiawi berbahan baku pati. Asam laktat (*lactic acid*) adalah salah satu asam organik yang penting di industri, terutama di industri makanan. Di samping itu, penggunaannya sekarang lebih luas karena bisa dipakai sebagai bahan baku pembuatan *poly lactic acid*, biodegradabel plastik yang merupakan polimer dari asam laktat. Salah satu jenis biodegradabel poliester adalah PLA. PLA ditemukan pada tahun 1932 oleh *Carothers (DuPont)* yang memproduksi PLA dengan memanaskan asam laktat pada kondisi vakum. Pada tahap selanjutnya, *DuPont* dan *Ethicon* memfokuskan pembuatan aplikasi medical grade sutures, implan dan kemasan obat. Baru-baru ini, beberapa perusahaan seperti Shimadzu dan Mitsui Tuatsu di Jepang telah memproduksi sejumlah PLA untuk aplikasi plastik. PLA dengan rumus kimia $(CH_3CHOHCOOH)_n$ adalah sejenis polimer atau plastik yang bersifat biodegradabel, termoplastik dan merupakan poliester alifatik yang terbuat dari bahan-bahan terbarukan seperti pati jagung, pati ubi dan sebagainya. Walaupun PLA sudah dikenal sejak abad yang lalu, namun baru diproduksi secara komersial dalam beberapa tahun terakhir dengan keunggulannya yaitu memiliki kemampuan untuk terdegradasi secara biologis (*Endang, 2007*).

PLA memiliki sifat tahan panas, kuat, dan merupakan polimer yang elastis. Homopolimer dari PLA adalah bubuk putih

pada suhu kamar dengan T_g dan T_m nilai-nilai sekitar 55°C dan 175°C . PLA berbentuk kristal yang tidak berwarna, dan mengkilap mirip dengan polistiren. PLA merupakan *polyester thermoplastic* yang memiliki atom C asimetrik atau kiral sehingga memiliki tiga jenis struktur polimer yang berbeda yaitu poli (D-asam laktat) (PDLA) merupakan material kristal dengan struktur rantai reguler, poli (L-asam laktat) (PLLA) yang merupakan hemi-kristal dengan struktur rantai reguler, dan poli (D,L-asam laktat) (PDLLA) yang merupakan material bersifat amorf (Lin, 2012). PLLA mempunyai kristalinitas 37%. Penggunaan PLLA sebagai bahan mentah dalam industri polimer juga menjadi solusi untuk mengatasi beberapa masalah lingkungan terutama dalam hal limbah plastik yang tidak dapat terdegradasi di alam dengan mudah (Auras, 2002).



Gambar II.1 Isomer PLA

Tabel II.1 Sifat Fisik Polimer PLA

<i>Crystallinity</i>	<i>Semicrystalline</i> (PDLA) 0-37% (PLLA) <i>Amorphous</i> (PDLA)
<i>Glass transition temperature, T_g</i>	50-64 °C
<i>Melting temperature, T_m</i>	145 – 186 °C
<i>Tensile strength</i>	28-50 MPa
<i>Young's modulus</i>	1,2 – 3 GPa
<i>Elongation at break</i>	2-6%

(Saini, P, 2016)

PDLA, PLLA dan PDLA larut dalam pelarut organik termasuk benzena, kloroform, dioksan, dll dan dapat diturunkan oleh hidrolisis sederhana dari ikatan ester bahkan tanpa adanya α hidrolase. PLA akan terdegradasi di lingkungan mulai dari 6 bulan hingga 2 tahun, tergantung pada ukuran dan bentuk artikel, rasio isomer nya, dan suhu. Sifat tarik PLA dapat bervariasi tergantung pada anil atau berorientasi, atau derajat dari kristalinitas (Garlotta et al., 2001).

PLLA merupakan bioplastik yang memiliki potensi sebagai alternatif substitusi polimer berbasis minyak bumi karena PLLA memiliki sifat fisik polimer termoplastik, modulus elastisitas yang tinggi, dan dapat diproses. Penggunaan PLLA sebagai bahan mentah dalam industri polimer juga menjadi solusi untuk mengatasi beberapa masalah lingkungan terutama dalam hal limbah plastik yang tidak dapat terdegradasi di alam dengan mudah. Bagaimanapun juga, PLLA memiliki kekurangan yang membatasi penggunaannya dalam beberapa aplikasi tertentu. Dalam proses produksi material pembungkus skala besar (*film and sheet casting, stretch blow molding, dan injection molding*), PLLA memiliki masalah karena sifatnya yang kaku, mudah patah, dan laju kristalisasi yang rendah. Walaupun kekuatan

tensile/luluh (*tensile strength*) dan modulus elastisitasnya sebanding dengan plastik berbasis minyak bumi, nilai toughness yang rendah akan membatasi penggunaannya dalam aplikasi komersial yang membutuhkan ketahanan terhadap deformasi pada level aplikasi beban yang tinggi (*high stress level*).

PLLA sebagai bahan biodegradable plastik mempunyai sifat mekanis yang bagus, tingkat hidrofob yang rendah, dan stabilitas thermal yang rendah. Akan tetapi PLLA tidak tahan pada suhu tinggi dan sensitif pada kelembaban, untuk itu bahan tersebut perlu dipadukan dengan material lain untuk memperbaiki kekurangannya. Salah satu material yang dapat digunakan untuk meningkatkan properti dari PLLA adalah *plasticizer*. *Plasticizer* merupakan bahan tambahan/aditif yang meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan dari suatu material. *Plasticizer* digunakan untuk produksi plastik, bahan pelapis (*coating*), fil, filament yang digunakan untuk automotif, kesehatan dan konsumsi lainnya.

II.2 Modifikasi Poly Lactic Acid (PLA)

Kelemahan utama PLA yang membatasi aplikasinya adalah modifikasi kimiawi dan keelastisan yang buruk, profil degradasi yang lambat, dan hidrofilisitas yang kurang baik. Agar menjadi cocok untuk aplikasi biomedis spesifik, PLA telah dimodifikasi terutama mengenai dua aspek: *bulk properties* dan permukaan kimia. Untuk mencapainya, modifikasi kimia dan modifikasi fisika telah dicoba, yang melibatkan penggabungan monomer fungsional dengan berbagai bentuk dan komposisi molekuler, pengaturan kristalinitas dan kemampuan proses melalui pencampuran dan plastisisasi, dan sebagainya. Modifikasi fisika yang dilakukan adalah : *blending*

- *Blending*

Blending merupakan metode pencampuran dua jenis polimer sintesis yang bisa dilakukan melalui *melt blending* atau *solvent blending*. Secara umum, proses

blending ditujukan untuk meningkatkan sifat fisik dari polimer (mekanik dan thermal). Solvent blending adalah pencampuran antar polimer dengan menggunakan pelarut (*solvent*), Yang memegang penting dalam proses ini adalah parameter solubility (kelarutan) antar polimer yang akan dicampur. Interaksi yang terjadi dalam *Blending* adalah ikatan *Van der Waals*, ikatan hidrogen atau interaksi dipol-dipol. Paduan polimer ini bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat material yang diinginkan dan disesuaikan dengan keperluan. *Blending* komersial dapat dihasilkan dari polimer sintetik dengan polimer sintetik, polimer sintetik dengan polimer alam, dan polimer alam dengan polimer alam. *Blending* dapat dibentuk melalui beberapa teknik preparasi, yaitu :

Tabel II.2 Teknik *Blending*

Teknik preparasi	Deskripsi
<i>Mechanical blends</i>	Polimer/kopolimer di campur pada suhu diatas Tg atau Tm masing-masing polimer yang bersifat amorf dan semikristalin
<i>Mechanochemical blends</i>	Polimer/kopolimer dicampur dengan laju geser yang cukup tinggi sehingga polimer mengalami degradasi. Radikal-radikal bebas yang terbentuk berkombinasi menghasilkan campuran kompleks yang mengandung kopolimer blok atau cangkok
<i>Solution cast</i>	Polimer/kopolimer dicampur dengan melarutkannya ke dalam pelarut

<i>blends</i>	tertentu hingga homogeny, kemudian pelarut dihilangkan melalui penguapan sehingga dapat membentuk film polimer
<i>Latex blends</i>	Dispersi-dispersi dari polimer dalam air (lateks) dicampur lalu polimer-polimer yang bercampur tersebut dikoagulasi

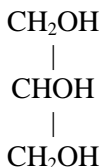
Metoda yang umum digunakan dalam pembentukan *Blending* adalah metode pelarutan (*solution cast blends*) dan metode pelelehan (*mechanical blends*), akan tetapi untuk penelitian kali ini kami menggunakan metode pelarutan dikarenakan metode ini lebih mudah diaplikasikan dibandingkan dengan metode pelelehan (*mechanical blends*).

II.3 Plasticizer

Plasticizer adalah bahan organik dengan berat molekul rendah yang ditambahkan dengan maksud untuk memperlemah kekakuan dari polimer, sekaligus meningkatkan fleksibilitas dan sekstensibilitas polimer. Plasticizer larut dalam tiap-tiap rantai polimer sehingga akan mempermudah gerakan molekul polimer dan bekerja menurunkan suhu transisi gelas (T_g), suhu kristalisasi atau suhu pelelehan dari polimer. Pada daerah diatas T_g , bahan polimer menunjukkan sifat fisik dalam keadaan lunak (soft) seperti karet, sebaliknya dibawah T_g polimer dalam keadaan sangat stabil seperti gelas (Paramawati, 2001). Plasticizer merupakan bahan yang ditambahkan ke dalam suatu bahan pembentuk film untuk meningkatkan fleksibilitasnya, karena dapat menurunkan gaya intermolekuler sepanjang rantai polimernya, sehingga film akan lentur ketika dibengkokkan (Garcia et al. dalam Rodriguez et al. 2006).

II.3.1 Gliserol

Gliserol ($\text{CH}_2\text{OH}.\text{CHOH}.\text{CH}_2\text{OH}$ atau propana-1, 2, 3-triol) ialah suatu trihidroksi alkohol yang terdiri atas 3 atom karbon. Jadi tiap atom karbon mempunyai gugus $-\text{OH}$. Satu molekul gliserol dapat mengikat satu, dua, tiga molekul asam lemak dalam bentuk ester, yang disebut monogliserida, digliserida dan trigliserida. Adapun rumus molekul gliserol dapat ditunjukkan pada Gambar II.2 :



Gambar II.2 Rumus Molekul Gliserol

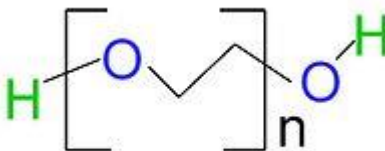
Sifat Fisik gliserol adalah :

- Merupakan cairan tidak berwarna
- Tidak berbau
- Cairan kental dengan rasa yang manis
- Densitas 1,23 kg/liter
- Titik lebur $18,2^\circ\text{C}$
- Titik didih 290°C
- *Glass Temperature* -87°C
- *Melting Temperature* 20°C (Mishra, 2012)

Gliserol yang diperoleh dari hasil penyabunan lemak atau minyak adalah suatu zat cair yang tidak berwarna dan mempunyai rasa yang agak manis. Gliserol larut baik dalam air dan tidak larut dalam eter. Gliserol digunakan dalam industri farmasi dan kosmetika sebagai bahan dalam preparat yang dihasilkan. Selain itu, gliserol juga digunakan sebagai penghalus pada krim cukur, sabun, dalam obat batuk dan sirup atau untuk pelembab, serta sintesis lemak di dalam tubuh (Endang, 2007). Gliserol 85% yang digunakan diproduksi di Jerman dengan nama dagang Merck KgaA.

II.3.2 Poly Ethylene Glycol (PEG)

Polietilen glikol adalah polimer yang dapat dirumuskan oleh formula $\text{HOCH}_2(\text{CH}_2\text{OCH}_2)_n\text{CH}_2\text{OH}$. Nilai n dapat berkisar dari 1 sampai nilai yang sangat besar, karena itu berat molekul dari PEG ini dapat berkisar antara 150-10.000. Senyawa yang memiliki berat molekul dari 150-700 berbentuk cairan, dimana senyawa yang berat molekulnya 1.000-10.000 berbentuk padatan. Senyawa glikol dengan berat molekul yang rendah biasanya digunakan untuk larutan kental dimana campuran glikol ini biasanya dimanfaatkan sebagai basis salep larut air (*Grosser, et al., 2011*). Berikut ini adalah struktur kimia dari PEG.



Gambar II.3. Struktur *Poly Ethylene Glicol*

Salah satu polimer yang umum digunakan pada pembuatan dispersi padat adalah PEG. PEG disebut juga makrogol, merupakan polimer sintetik dari oksietilen dengan rumus struktur $\text{H}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OH}$, dimana n adalah jumlah rata-rata gugus oksietilen. PEG umumnya memiliki bobot molekul antara 200-300.000. Penamaan PEG umumnya ditentukan dengan bilangan yang menunjukkan bobot molekul rata-rata. Konsistensinya sangat dipengaruhi oleh bobot molekul. PEG dengan bobot molekul 200-600 (PEG 200-600) berbentuk cair, PEG 1500 semi padat, dan PEG 3000-20.000 atau lebih berupa padatan semi kristalin dan PEG dengan bobot molekul lebih besar dari 100.000 berbentuk seperti resin pada suhu kamar. Umumnya PEG dengan bobot molekul 1.500-20.000 yang digunakan untuk pembuatan dispersi padat (*Leuner dan Dressman, 2000; Rowe, et al., 2003*).

Polietilen glikol dengan rumus kimia $\text{H}(\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n\text{OH}$. Pemerian : cairan kental jernih, tidak berwarna atau praktis

tidak berwarna, bau khas lemah, agak higroskopik. Kelarutan: larut dalam air, dalam etanol (95%) P, dalam aseton P, dalam glikol lain dan dalam hidrokarbon aromatik, praktis tidak larut dalam eter P dan dalam hidrokarbon alifatik. Kandungan Lembab: Sangat higroskopis walaupun higroskopis turun dengan meningkatnya bobot molekul, titik beku 4-8°C (*MSDS PEG*). PEG 400 yang digunakan diproduksi di Jerman dengan nama dagang Merck KgaA. Berat molekul rata-rata PEG 400: 380-420. Densitas 1,124 – 1,126 kg/liter.

Kelarutan semua tingkat dari PEG larut dalam air, bercampur dengan PEG lainnya, larut dalam acetone, diklorometan, etanol dan methanol, agak sukar larut dalam hidrokarbon alifatik dan eter, tidak larut dalam lemak, campuran minyak dan minyak mineral.

Properties of PEG oligomers.

Material	Average M_n [g/mol]	Data obtained in this study		Literature data		
		T_g^a [°C]	T_m^a [°C]	T_g^b [°C]	T_m^c [°C]	Density ^c at 20 °C [g/cm ³]
PEG 200	200	-83	–	-86	-65	1.124
PEG 300	300	-76	-15	-78	-15~ -8	1.125
PEG 400	400	-72	2	-78	4-8	1.126
PEG 600	600	-69	17	-60	17-22	1.130

(Hee Jeung Oh dkk, 2014)

Gambar II.4 Data Properti Oligomer PEG

II.4 Miscibility PLLA dan PEG

Studi tentang miscibility dan interaksi dalam polimer dan pelarut dalam sistem larutan campuran polimer secara signifikan digunakan untuk aplikasi teknik polimer. Studi ini juga memberikan informasi mengenai proses yang melibatkan produksi polimer dan penggunaannya. Polimer campuran adalah campuran secara fisik polimer atau kopolimer yang berbeda secara struktural, yang berinteraksi melalui gaya sekunder tanpa ikatan kovalen yang tercampur pada tingkat molekuler. Dasar dari

polimer-polimer *miscibility* mungkin timbul dari interaksi tertentu, seperti ikatan hidrogen, gaya dipole-dipol atau transfer interaksi dalam sistem (Kumar, 2011).

Tinjauan literatur yang telah dilakukan oleh Younes dan Daniel tentang studi kelayakan pada campuran poli (asam l-laktat) dan campuran PEG yang dibuat dengan *solution casting*. Oleh karena itu Sheth dkk (1996) dalam penelitiannya, PLA dan PEG dicampur dalam berbagai rasio melalui teknik pencampuran lelehan untuk mengembangkan campuran *biodegradable* dengan sifat bervariasi tergantung pada persyaratan dari aplikasi tertentu. Tujuan utama dari penelitian ini untuk mempelajari campuran *miscibility* dan pengaruhnya terhadap sifat mekanik, degradasi enzimatik, dan degradasi hidrolitik. Hasilnya berdasarkan analisa termal yang dilakukan disimpulkan bahwa PLA dan PEG menghasilkan campuran yang mudah bercampur dalam komposisi kurang dari 50/50. Kedua komponen tersebut dalam campuran mampu mengkristal dan dengan adanya PEG dapat meningkatkan kristalisasi PLA. Hasil DMA menunjukkan bahwa semua campuran menunjukkan beberapa tingkat plastisitasi karena *miscibility* parsial dan transisi terjadi secara luas pada kisaran suhu. Begitu juga yang dilakukan Sungsanit dkk (2011) melaporkan bahwa campuran PLLA/PEG mengurangi nilai T_g dan properti kristalisasi. Penelitian ini juga memperoleh *miscibility* campuran antara PLLA dan PEG pada komponen berat 5% dan 10% penambahan PEG. Sehingga pada tahun 2015 Bijarimi dkk melakukan penelitian tentang campuran PLA dan PEG untuk mengetahui property mekanik, panas, dan morfologi.

II.5 Proses Grafting Kopolimer

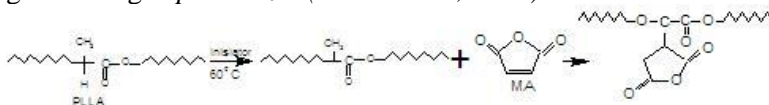
Salah satu metode yang diketahui efektif untuk menghasilkan sifat-sifat yang diinginkan kedalam PLLA adalah dengan teknik grafting. Teknik grafting telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang aplikasi antara lain untuk mengubah sifat-sifat polimer

induk dengan tujuan seperti untuk meningkatkan kekuatan adhesif polimer, biodegradasi polimer, memberikan sifat kepekaan polimer terhadap perubahan suhu dan pH, sifat hidrofilik sebagai superadsorben, memberikan sifat penghantar proton sebagai membrane sel bahan bakar, dan sifat penukar ion (Zhang., 2009). Jadi, grafting kopolimer adalah suatu polimer yang terdiri dari molekul-molekul dengan satu atau lebih jenis dari monomer yang terhubung pada sisi rantai utama. Grafting kopolimer dapat juga disiapkan oleh proses kopolimerisasi cabang dengan monomer yang akan membentuk rantai utama.

Dalam rangka meningkatkan performanya, terutama yang berhubungan dengan sifat kepolaran poli asam laktat, poli asam laktat perlu dimodifikasi sehingga memiliki gugus polar dalam rantainya. Modifikasi pencangkakan merupakan salah satu cara yang efektif untuk memperluas penerapan aplikasi poli asam laktat. Salah satu senyawa yang dapat diaplikasikan untuk kopolimer pencangkakan ke dalam poli asam laktat yaitu anhidrida maleat dan beberapa senyawa analognya (Rzayev 2011). Metode pencangkakan bisa dilakukan dengan berbagai cara, antara lain dengan metode penggunaan pelarut, pelelehan (Belekin et al. 2015), padatan dan induksi radiasi (Xianru et al. 2013; Rzayev 2011).

Metode penggunaan pelarut dan pelelehan merupakan cara yang umum digunakan. Metode pelelehan memiliki beberapa kelebihan, antara lain waktu yang dibutuhkan untuk reaksi sebentar, tidak memerlukan pelarut dan tanpa perlakuan setelah proses. Namun, metode ini juga memiliki kelemahan yaitu persen pencangkakannya cenderung rendah. Persen pencangkakan sangat berpengaruh terhadap performa kopolimer. Persen pencangkakan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: suhu reaksi, waktu reaksi, konsentrasi monomer, inisiator dan pelarut yang digunakan. Semakin tinggi persen pencangkakan monomer yang menempel pada poli asam laktat akan memperluas aplikasinya. Senyawa tak jenuh yang memiliki ikatan rangkap dan gugus polar dapat digunakan sebagai monomer untuk

pencangkakan ke dalam poli asam laktat, biasanya anhidrida maleat dan senyawa analognya. Mekanisme inisiasi radikal bebas sangat berpengaruh dalam proses pencangkakan sehingga diperlukan senyawa inisiator yang tepat. Senyawa yang biasa digunakan sebagai inisiator antara lain senyawa peroksida, antara lain: peroksida benzoil, peroksida tert-butyl dan peroksida dicumil. Dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis Poly(L-Lactic Acid)-graft-Maleic Anhydride (PLLA-g-MA) untuk mengetahui pengaruh modifikasi PLLA terhadap properti PLLA-g-MA dengan *plasticizer* (Muhammad, 2016).



Gambar II.5 Mekanisme Pencangkakan PLLA-g-MA

II.5.1 Maleic Anhydride

Maleic Anhydride (MA) adalah bahan kimia serbaguna yang dibutuhkan hampir di seluruh bidang industri kimia. Kegunaan MA yang beragam dikarenakan oleh struktur dari grup dicarboxylic acid, reaktivitas ikatan rangkap pada posisi alfa dan beta. Struktur kimia ini dan reaktivitas yang tinggi dari turunan MA memungkinkan untuk membuat beragam jenis resin dan juga merupakan pereaksi organik untuk berbagai transformasi kimia. MA (C₄H₂O₃ atau 2,5 furandione) merupakan kristal padat (solid) berwarna putih dengan berat molekul 98,06 g/mol yang memiliki titik didih 202 °C dan titik lebur 52,8 °C dengan *specific gravity* 1,48. Sifat kimia yang dimiliki MA yaitu mudah terbakar pada suhu tinggi, tidak berbau dan berasa, memiliki PH netral dan sedikit larut dalam methanol tetapi larut dalam air (*MSDS MA*). MA yang digunakan diproduksi oleh Sigma Aldrich Chemical.



Gambar II.6 Rumus Molekul *Maleic Anhydride*

II.5.2 Benzoyl Peroxide

Benzoyl peroxide merupakan senyawa peroksida yang berfungsi sebagai inisiator dalam proses polimerisasi dan dalam pembentukan ikatan silang dari berbagai polimer dan material polimer. Senyawa peroksida ini dapat digunakan sebagai pembentuk radikal bebas. Peroksida organik seperti benzoyl peroksida diuraikan dengan mudah untuk menghasilkan radikal bebas benzoyl. Penambahan sejumlah tertentu zat pembentuk radikal akan memberikan ikatan bagi bahan polimer (AL-Malaikua, 1997). BPO yang digunakan diproduksi oleh Sigma Aldrich Chemical.

II.6 Aplikasi Pencampuran PLLA

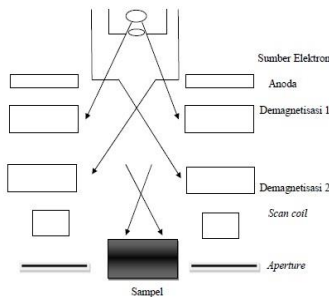
Seperti disebutkan di atas yang membahas penggunaan modifikasi, campuran PLA telah diselidiki dalam berbagai aplikasi biomedis. Sebagian besar penelitian yang melibatkan campuran PLA digunakan untuk obat dan teknik jaringan. Diagnostik dan theranostik menggunakan campuran PLA, yang pertama dimodifikasi pada tingkat sintesis, karena kebutuhan spesifik untuk penggabungan bagian untuk penargetan dan rangsangan respon. Sebagai tambahannya mengembangkan campuran PLA dengan cara yang telah ditentukan, perkembangan material untuk mendapat biomaterial yang lebih baik dari kompatibilitas, biodegradabilitas, dan sudut pandang mekanis juga sedang diteliti oleh banyak peneliti. Campuran PLA dengan polimer alami atau sintesis lainnya dengan biokompatibilitas yang

telah ditetapkan seperti PCL, PLGA, dan kitosan memastikan penerapannya sebagai biomaterial. Secara singkat, bagian berikut mencakup campuran PLA dalam pembuatan obat, *tissue engineering*, implan, dan pengembangan biomaterial yang berpotensi untuk aplikasi biomedis (Saini, 2016).

II.7 Karakterisasi Film PLLA-Plasticizer

- **Analisa SEM**

SEM adalah suatu instrumen penghasil berkas elektron pada permukaan specimen target dan mengumpulkan serta menampilkan sinyal-sinyal yang diberikan oleh material target. Pada prinsipnya SEM terdiri dari kolom elektron, ruang sampel, dan sistem vakum. Dalam hal analisis morfologi kopolimer penggunaan alat SEM berkembang luas. Prinsip analisis menggunakan SEM adalah dengan sinyal electron sekunder dapat dilihat pada skema gambar di bawah ini :



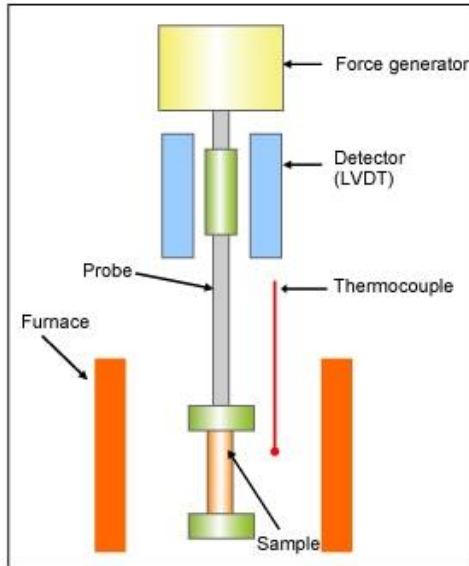
Gambar II.7 Skema Peralatan Analisa SEM

Teknik SEM pada dasarnya merupakan pemeriksaan dan analisis permukaan. Data yang diperoleh merupakan data dari permukaan atau lapisan yang tebalnya sekitar 20 μm dari permukaan. Gambar permukaan yang diperoleh merupakan topografi dengan segala tonjolan, lekukan dan lubang pada permukaan. Gambar topografi diperoleh dengan penangkap elektron sekunder yang dipancarkan oleh spesimen. Sampel yang akan dianalisis dengan menggunakan teknik ini harus mempunyai

permukaan dengan konduktivitas yang tinggi, karena polimer mempunyai konduktivitas yang rendah maka bahan perlu dilapisi dengan bahan konduktor (bahan pengantar) yang tipis. Bahan yang biasa digunakan adalah perak, tetapi jika dianalisis dalam waktu yang lama lebih baik menggunakan emas atau campuran emas dan palladium. Berkas elektron diarahkan pada suatu permukaan spesimen yang telah dilapisi oleh suatu film konduktor. Pelapisan ini bertujuan agar polimer yang diguaakan dapat menghantarkan arus listrik sehingga dapat berinteraksi dengan berkas elektron. Berkas elektron yang berinteraksi dengan spesimen dikumpulkan untuk mengetahui intensitas elektron pada suatu tabung televisi yang diarahkan serentak dengan sinar dari mikroskop. Interaksi berkas elektron dengan spesimen akan menghasilkan pola difraksi elektron yang dapat memberikan informasi mengenai kristalografi, jenis unsur serta distribusinya dan morfologi dari permukaan bahan (Wu *et al*, 2007).

- **Analisa DMA (Dynamic Mechanical Analysis)**

DMA merupakan suatu teknik memonitor sifat material terhadap temperature akibat stress yang periodic. Sampel diletakkan dianatra dua penjepit. Satu penjepit bergerak relative cepat terhadap yang lain. Gerakan yang ini menyebabkan sampai terdeformasi secara periodic seturut dengan frekuensi dari gerakan penjepit. Amplitudo deformasi dimonitor dengan Linear Variable Differential Transformer (LVDT) yang dihubungkan dengan penjepit. Dari alat ini akan diperoleh kurva perubahan panjang, yang akan terjadi pada saat perubahan fasa, terhadap temperature (Hyuga, 2015).



Gambar II.8 Blok Diagram DMA

- **Analisa FTIR**

FTIR merupakan singkatan dari Forier Transform Infra Red. Dimana FTIR ini adalah Teknik yang digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah dari absorbansi, emisi, foto konduktivitas atau Raman Scattering dari sampel padat, cair, dan gas. Karakterisasi dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui jenis-jenis vibrasi antar atom. FTIR juga digunakan untuk menganalisa senyawa organik dan anorganik serta analisa kualitatif dan analisa kuantitatif dengan melihat kekuatan absorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu. (*Hindrayawati, 2010*).

Spectroscopy FTIR menggunakan sistem optik dengan laser yang berfungsi sebagai sumber radiasi yang kemudian diinterferensikan oleh radiasi inframerah agar sinyal radiasi yang diterima oleh detektor memiliki kualitas yang baik dan bersifat utuh (*Giwangkara, 2006*). Prinsip kerja FTIR berupa infrared yang melewati celah kesampel, dimana celah tersebut berfungsi

mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel. Kemudian beberapa infrared diserap oleh sampel dan yang lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar infrared lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer. Prinsip kerja spektroskopi FTIR adalah adanya interaksi energi dengan materi.

- **Analisa XRD**

Difraksi sinar X atau *X-ray diffraction (XRD)* adalah suatu metode analisa yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Profil XRD juga dapat memberikan data kualitatif dan semi kuantitatif pada padatan atau sampel. Difraksi sinar X ini digunakan untuk beberapa hal, diantaranya:

1. Pengukuran jarak rata-rata antara lapisan atau baris atom
2. Penentuan kristal tunggal
3. Penentuan struktur kristal dari material yang tidak diketahui
4. Mengukur bentuk, ukuran, dan tegangan dalam dari kristal kecil

Difraksi sinar-X terjadi karena pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif.

Difraktometer sinar X merupakan suatu alat yang dapat menentukan derajat kristalinitas suatu polimer. Bagian kristalin dan amorf suatu polimer dapat berinteraksi dengan sinar X dan menunjukkan aktifitas difraksi yang spesifik. Derajat kristalinitas dapat ditentukan bila difraksi kristalin dapat dipisahkan dari difraksi amorf. Derajat kristalinitas diketahui dengan cara menghitung perbandingan luas difraksi kristalin terhadap luas total difraksi (*Sutiani, 1997*).

- **Analisa DSC**

Analisa termal merupakan suatu analisa dengan memberikan input kalor untuk mengetahui karakterisasi dari sampel. Suatu analisa termal memiliki keuntungan yaitu jumlah material yang dibutuhkan hanya sedikit. Hal ini memastikan keseragaman distribusi suhu dan resolusi yang tinggi.

DSC adalah suatu teknik analisa termal yang mengukur energi yang diserap atau diemisikan oleh sampel sebagai fungsi waktu atau suhu. Ketika transisi termal terjadi pada sampel, DSC memberikan pengukuran kalorimetri dari energi transisi dari temperatur tertentu.

DSC merupakan suatu teknik analisa yang digunakan untuk mengukur energi yang diperlukan untuk mengukur energi yang diperlukan untuk membuat perbedaan temperatur antara sampel dan pembanding mendekati nol, yang dianalisa pada daerah suhu yang sama, dalam lingkungan panas atau dingin dengan kecepatan yang teratur. Terdapat dua tipe sistem DSC yang umum digunakan, yaitu :

- Power – Compensation DSC, dimana suhu sampel dan pembanding diatur secara manual dengan menggunakan tungku pembakaran yang sama dan terpisah.
- Heat – flux DSC, dimana sampel dan pembanding dihubungkan dengan suatu lempengan logam. Sampel dan pembanding tersebut ditempatkan dalam satu tungku pembakaran (*Tarigan, 2011*).

II.8 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya

NO	Nama Peneliti (Tahun)	Uraian Hasil
1.	Hui-Min Wang, Yi-Ting Chou, Chin-San Wu, Jen-Taut Yeh (2012)	Penelitian ini menjelaskan tentang investigasi sistematik dari properti mekanik dan biokompatibel komposit CA dengan PLA dan maleic anhydride (MA)

		<p>dicangkokkan dengan PLA. Hasil uji mekanik, komposit properti mekanik pencangkokan MA meningkat terutama kuat tariknya. Pada tes viabilitas sel mengindikasikan bahwa membran PLA memiliki biokompabilitas yang bagus untuk perkembangan FBs. Membran ini dapat mempercepat penyembuhan dengan peningkatan produksi kolagen FBs sehingga potensi penutup luka pada membran PLA/CA. Namun, pada penelitian ini belum dibahas pencampuran antara PLLA-g-MA dengan <i>plasticizer</i> untuk pembentukan film hanya berfokus pada pembentukan film dari PLLA-g-MA dengan CA sebagai <i>filler</i>, sehingga pada penelitian ini akan dilakukan pembentukan film dari pencampuran PLLA-g-MA dengan <i>plasticizer</i> untuk mengetahui properti mekanik dan biokompabilitas sehingga dapat diaplikasikan pada biomedik.</p>
2.	<p>Martin Frydrych, Sabiniano Román, Sheila MacNeil, Biqiong Chen (2015)</p>	<p>Struktur PGS/PLLA memberikan mikrostruktur berpori yang menguntungkan, karakteristik hidrofilik yang baik, dan sifat mekanik yang tepat untuk aplikasi jaringan lunak, serta penetrasi struktur sel yang disempurnakan dan jaringan karakteristik</p>

		<p>pertumbuhan. Penelitian ini menunjukkan bahwa struktur PGS / PLLA memiliki potensi untuk aplikasi dalam rekayasa jaringan adipoe. Dalam paper ini Martin, dkk. menggunakan poli (glycerol sebacate) sebagai bahan pelunak dalam pembuatan campuran biometik, pada penelitian ini akan dilakukan pencampuran antara PLLA dengan gliserol untuk mengetahui karakteristik mekanik dari campuran antara PLLA dengan gliserol sebagai <i>plasticizer</i>.</p>
3.	Yuqing Wan dkk (2002)	<p>Kopolimer multiblok Poly (L-Lactide)- Poly (Ethylene Glycol) atau Multi PLE memiliki konten yang tinggi dari PEG yang pendek, hidrofil tinggi dan properti mekanik yang bagus disintesis dan digunakan sebagai struktur sel untuk rekayasa jaringan organ. Hasil dari penelitian ini menunjukkan dengan meningkatkan segmen PEG di kopolimer, efisiensi sel menurun karena PEG dapat mengurangi adhesi sel. Hasil uji MTT menunjukkan afinitas sel dan proliferasi struktur kopolimer Multi-PLE yang lebih baik daripada struktur PLLA. Uji SEM menunjukkan tumbuh hanya pada permukaan struktur PLLA</p>

		<p>dikarenakan sifat hidrofobnya. tetapi sel tumbuh secara meningkat pada seluruh struktur Multi-PLE. Namun pada penelitian ini tidak membahas berat molekul PEG.</p>
4.	Sungsanit dkk (2011)	<p>Penelitian yang dilakukan tentang properti PLLA/PEG blend menggunakan PEG dengan berat molekul 1000. Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan plasticizer mempengaruhi nilai kristalinitas, semakin banyak plasticizer kristalinitas semakin naik yang diikuti oleh penurunan Tg. PLA yang telah ditambahkan plasticizer mempunyai viskositas rendah dan lebih elastis dibandingkan PLA tanpa plasticizer. Namun penelitian ini tidak menyebutkan potensi aplikasi biomedik.</p>

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang akan digunakan dibagi menjadi dua tahap, yaitu tahap pertama adalah pembuatan film dari PLLA/*Plasticizer*, mencampur PLLA dan PEG200, PLLA dan PEG400, PLLA dan Gliserol sebagai *plasticizer* dengan menggunakan kloroform sebagai pelarut. Memanaskan dan mengaduk campuran tersebut pada suhu 60°C dan kecepatan 200 rpm selama 6 jam menggunakan *hotplate*. Selanjutnya proses pencetakan film pada petry dish dan melakukan uji karakteristik hasil pencampuran PLLA/*Plasticizer*. Untuk tahap kedua adalah tahap pembuatan film dari PLLA-g-MA/*Plasticizer*, pertama membuat kopolimer PLLA-g-MA dengan teknik grafting. Selanjutnya membuat Film Kopolimer PLLA-g-MA/*Plasticizer* dengan melarutkan PLLA-g-MA dan *plasticizer* dalam pelarut kloroform. Memanaskan dan Mengaduk campuran pada suhu 60°C dan kecepatan 200 rpm selama 6 jam menggunakan *hotplate*. Selanjutnya proses pencetakan film pada petry dish dan melakukan uji karakteristik hasil pencampuran PLLA-g-MA/*Plasticizer*.

III. 1 Bahan Yang Digunakan

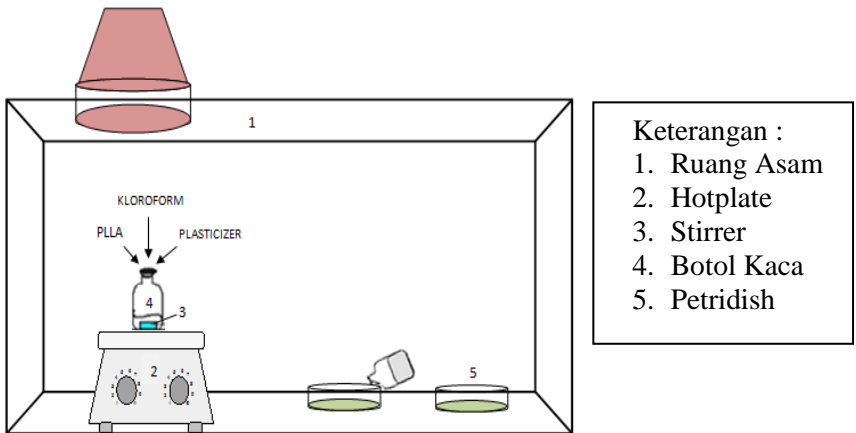
Bahan-bahan yang digunakan antara lain :

- a) *Poly(L-Lactic Acid)* (PLLA) dari Zhejiang Hisun Biomaterials Co., Ltd
- b) *Poly(ethylene glycol)* 200 (PEG200) sebagai *plasticizer*
- c) *Poly(ethylene glycol)* 400 (PEG400) sebagai *plasticizer* dari Merck KGaA diproduksi di Jerman
- d) *Glycerol* sebagai *plasticizer* Merck KGaA diproduksi di Jerman
- e) MA (*Maleic Anhydride*) sebagai bahan kopolimer PLLA-g-MA dari Sigma-Aldrich Chemical
- f) Kloroform sebagai pelarut

- g) Toluene sebagai pelarut pada proses grafting
- h) *Benzoyl Peroxide* sebagai inisiator pada proses grafting Sigma-Aldrich Chemical

III.2. Skema Peralatan Penelitian

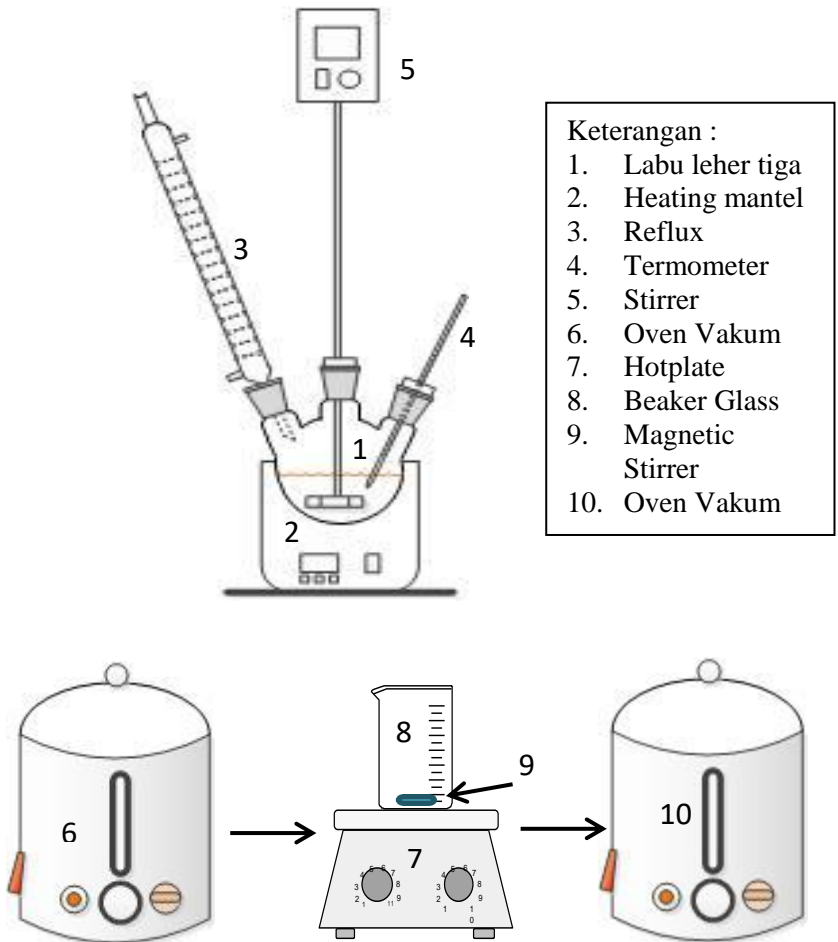
III.2.1 Pembuatan Film PLLA/Plasticizer



Gambar III.1 Skema Alat Pembuatan Film PLLA/Plasticizer

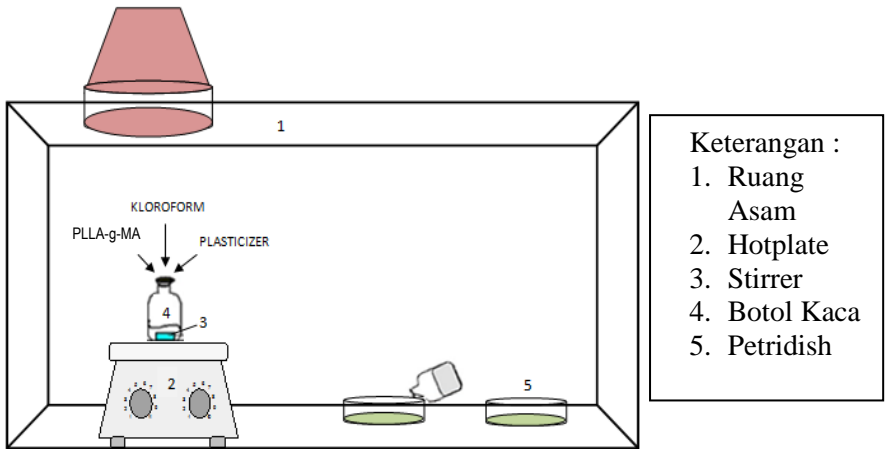
III.2.2 Pembuatan Film dengan penambahan PLLA-g-MA

III.2.2.1 Pembuatan Kopolimer PLLA-g-MA



Gambar III.2 Skema Alat Pembuatan PLLA-g-MA

III.2.2.2 Pembuatan Film dengan penambahan PLLA-g-MA



Gambar III.3 Skema Alat Pembuatan Film PLLA-g-MA/Plasticizer

III.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah perbandingan PLLA-g-MA dan Plasticizer dengan perbandingan (%) yaitu;

(a) 100/0 ; (b) 95/5 ; (c) 90/10 ; (d) 85/15 ; (e) 80/20

III.4. Prosedur Penelitian

III.4.1 Pembuatan film PLLA/Plasticizer

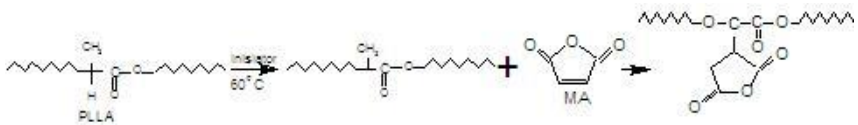
1. Mencampurkan PLLA dan plasticizer sesuai variabel penelitian dengan kloroform untuk membentuk larutan polimer dengan konsentrasi 5% berat.
2. Memanaskan dan mengaduk campuran tersebut pada suhu 60°C dan kecepatan 200 rpm selama 6 jam menggunakan hotplate.
3. Setelah 6 jam, campuran dicetak menjadi film pada *petridish* hingga cetakan rata menggunakan *waterpass*.
4. Solvent yang terkandung pada film diuapkan pada suhu ruangan selama 24 jam.

III.4.2 Pembuatan film dengan penambahan PLLA-g-MA

III.4.2.1 Pembuatan PLLA-g-MA

1. Memanaskan toluen hingga suhu 60°C dalam labu leher tiga.
2. Memasukkan PLLA dan MA kedalam labu leher tiga
3. Mengaduk campuran dengan kecepatan 200 rpm pada suhu 60°C
4. Memasukkan *Benzoyl Peroxide* kedalam campuran
5. Diaduk pada kecepatan 200 rpm selama 6 jam
6. Setelah 6 jam, didapatkan produk kopolimer PLLA-g-MA dan solvent yang terkandung dalam kopolimer PLLA-g-MA diuapkan dengan dipanaskan di dalam oven vakum pada suhu 80°C selama 2 jam.
7. Hasil kopolimer dicuci dengan aquadest untuk menghilangkan MA yang tidak *tergrafting* pada PLLA.

Reaksi yang diharapkan ditunjukkan pada gambar berikut :



III.4.2.2 Pembuatan Film dengan penambahan PLLA-g-MA

1. Mencampurkan PLLA-g-MA dan plasticizer sesuai variabel penelitian dengan kloroform untuk membentuk larutan polimer dengan konsentrasi 5% berat.
2. Memanaskan dan mengaduk campuran tersebut pada suhu 60°C dan kecepatan 200 rpm selama 6 jam menggunakan hotplate.
3. Setelah 6 jam, campuran dicetak menjadi film pada *petridish* hingga cetakan rata menggunakan *waterpass*.
4. Solvent yang terkandung pada film diuapkan pada suhu ruangan selama 24 jam.

III.4.3 Karakterisasi film

Jenis karakterisasi film antara lain :

A. Karakterisasi sifat mekanik (DMA)

DMA (*Dynamic Mechanical Analysis*) merupakan suatu teknik memonitor sifat material terhadap temperature akibat stress yang periodic. Sampel diletakkan dianatra dua penjepit. Satu penjepit bergerak relative cepat terhadap yang lain. Gerakan yang ini menyebabkan sampai terdeformasi secara periodic seturut dengan frekuensi dari gerakan penjepit. Amplitudo deformasi dimonitor dengan linear variable differential transformer (LVDT) yang dihubungkan dengan penjepit. Dari alat ini akan diperoleh kurva perubahan panjang, yang akan terjadi pada saat perubahan fasa, terhadap temperatur.

B. Karakterisasi morfologi film (SEM)

SEM digunakan untuk mengetahui morfologi senyawa padatan dan komposisi unsur yang terdapat dalam suatu senyawa. Prinsip SEM yaitu menggambarkan permukaan sampel melalui proses scan dengan menggunakan pancaran energy yang tinggi dari electron dalam suatu pola scan raster. Electron berinteraksi dengan atom – atom yang membuat sampel menghasilkan sinyal yang memberikan informasi mengenai permukaan topografi sampel, komposisi dan sifat – sifat lainnya seperti konduktivitas listrik. Setelah sinar mengenai sampel, akan terjadi interaksi-interaksi pada sampel yang disinari.

C. Karakterisasi derajat kristalinitas film (XRD)

Difraksi sinar X atau X-ray diffraction (XRD) adalah suatu metode analisa yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Profil XRD juga dapat memberikan data kualitatif dan semi kuantitatif pada padatan atau sampel.

D. Karakterisasi Analisa Gugus Fungsi (FTIR)

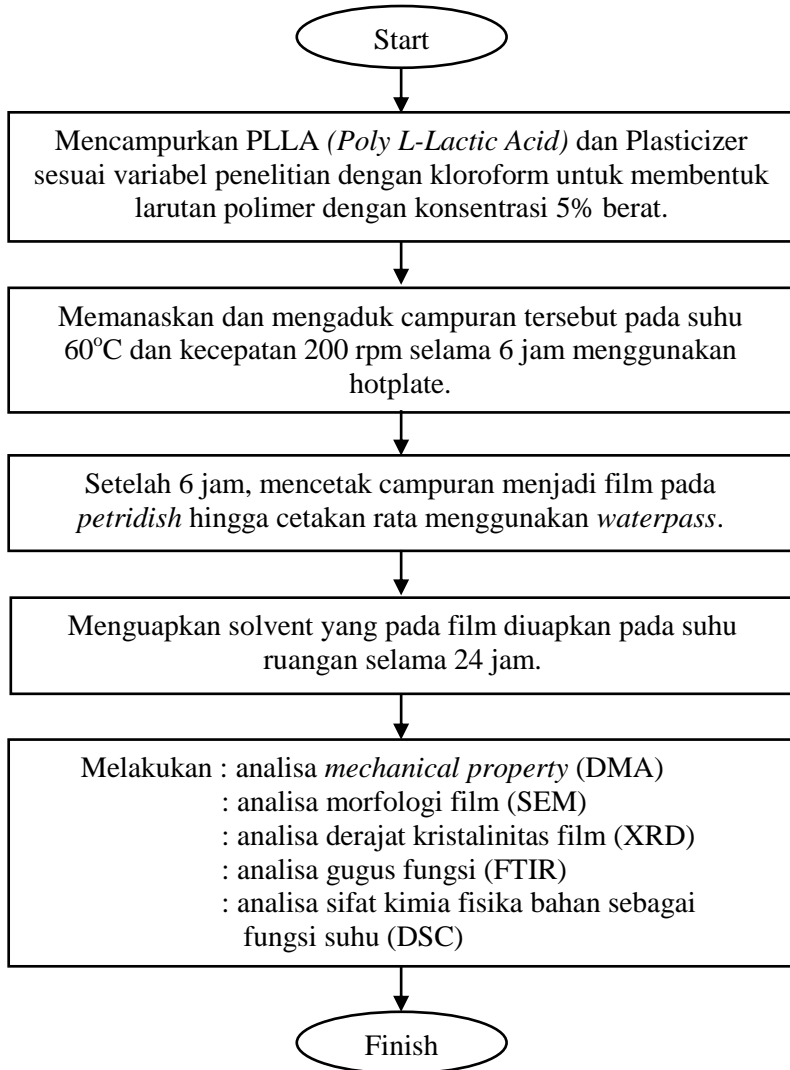
Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) merupakan karakterisasi sampel yang bertujuan untuk mengetahui jenis-jenis vibrasi antar atom. FTIR juga digunakan untuk menganalisa senyawa organik dan anorganik serta analisa kualitatif dan analisa kuantitatif dengan melihat kekuatan absorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu.

E. Karakterisasi *Thermal Properties* (DSC)

DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) adalah suatu teknik analisa termal yang mengukur energi yang diserap atau diemisikan oleh sampel sebagai fungsi waktu atau suhu. Ketika transisi termal terjadi pada sampel, DSC memberikan pengukuran kalorimetri dari energi transisi dari temperatur tertentu. Analisa sifat termal meliputi suhu pelelehan (*melting point*, T_m) dan suhu transisi (*glass transition temperature*, T_g). Alat yang digunakan adalah Differential Scanning Calorimetry (DSC). Analisa dilakukan dengan temperature program dimulai dengan pemanasan sampel dari suhu ruang sekitar 25°C hingga 220°C dengan laju pemanasan kecepatan pemanasan adalah 20° C/menit. Sehingga didapatkan Grafik yang digunakan untuk menganalisa T_m dan T_g

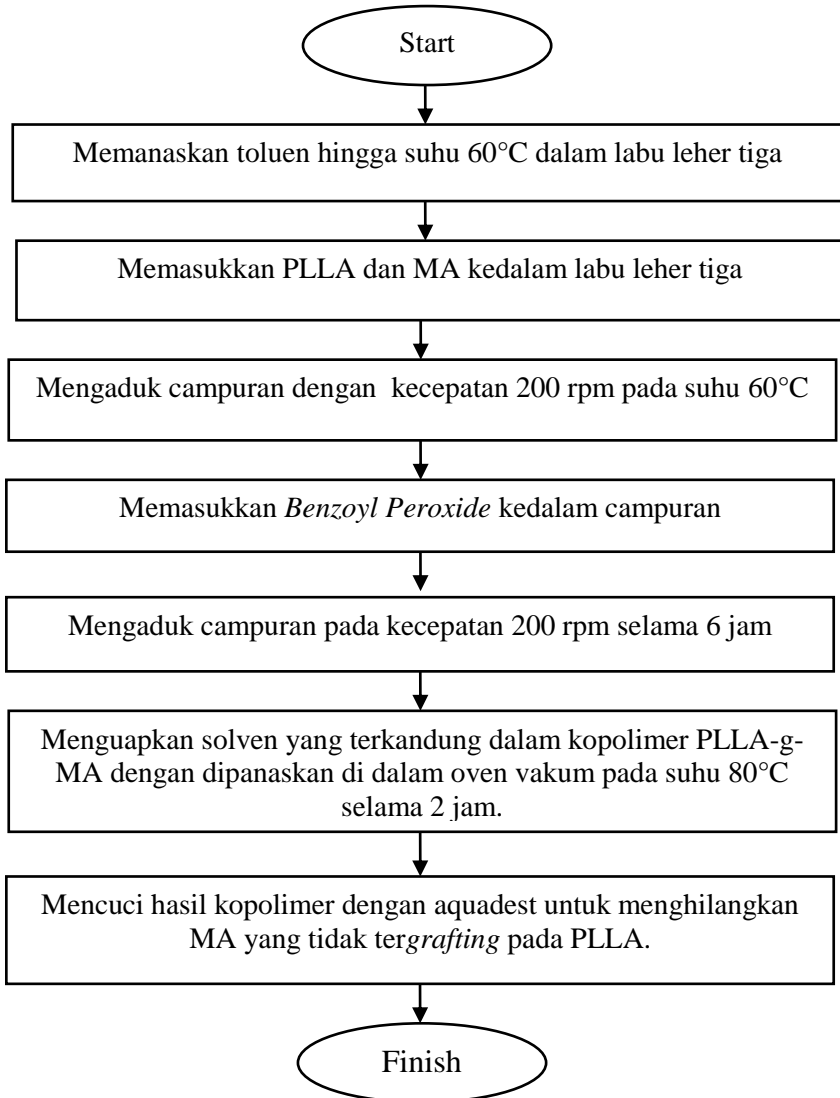
III.5 Blok Diagram Penelitian

III.5.1 Pembuatan film PLLA/Plasticizer

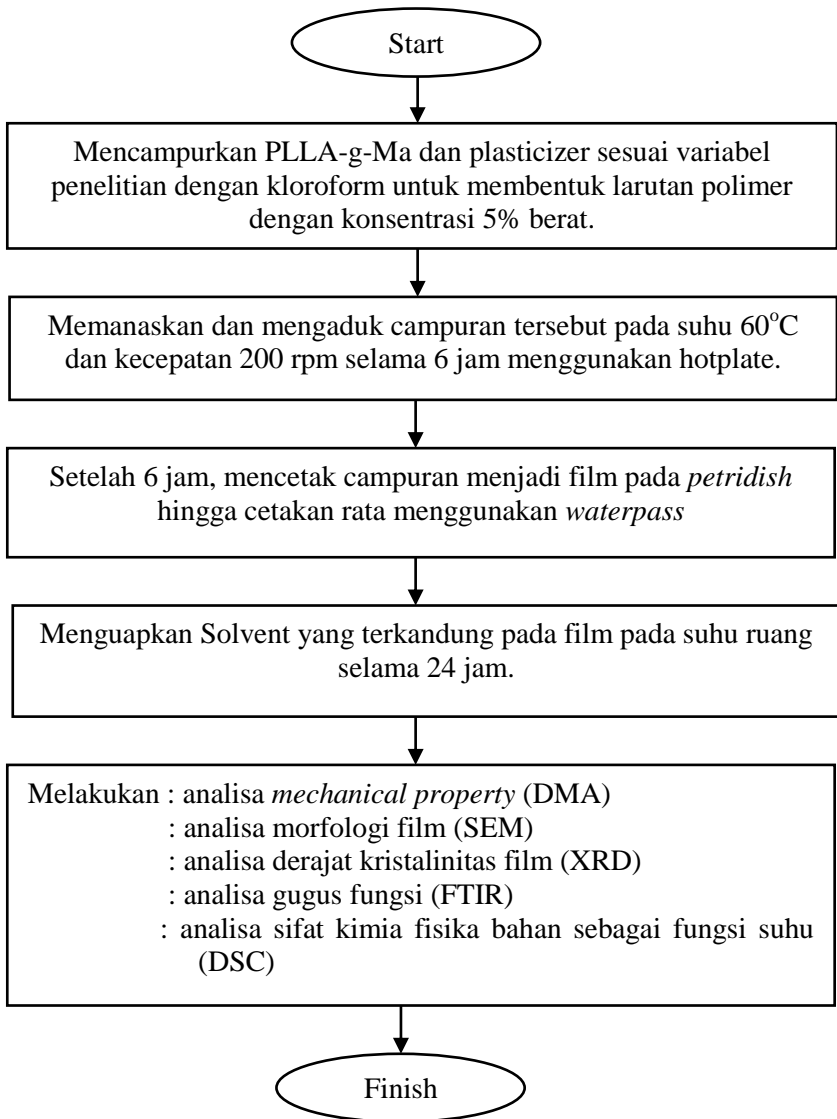


III.5.2 Pembuatan film PLLA-g-MA/*Plasticizer*

III.5.2.1 Pembuatan PLLA-g-MA



III.5.2.2 Pembuatan Film PLLA-g-MA/Plasticizer



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

PLLA sebagai bahan *biodegradable* yang mempunyai sifat mekanik yang bagus dan sifat biokompatibiliti yang bagus, namun tingkat hidrofobnya rendah dan stabilitas thermal yang rendah. PLLA memiliki beberapa kekurangan sehingga dapat membatasi penggunaannya. Untuk itu bahan tersebut perlu dipadukan dengan material lain untuk memperbaiki kekurangannya. Memadukan PLLA dengan material lain merupakan pilihan yang tepat untuk meningkatkan propertinya atau menghasilkan properti baru untuk suatu target aplikasi. Dilakukan pula modifikasi PLLA dengan MA dengan metode grafting yang bertujuan untuk meningkatkan interaksi antara PLLA dan Plasticizer sehingga menghasilkan film yang kompatibel dengan sifat mekanik yang baik. *Plasticizer* adalah bahan tambahan/additif yang meningkatkan flexibilitas dan ketahanan dari suatu material. *Plasticizer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Poly(Ethylene Glycol)* (PEG) dengan BM rendah 200, 400 dan Gliserol. Digunakan *Plasticizer* PEG BM rendah, menurut Knop dkk (2010) PEG dengan BM rendah cocok untuk aplikasi Biomedik. Dan menurut Frydrych dkk (2015) Gliserol cocok untuk aplikasi biomedik.

Metode yang digunakan adalah metode solven *blending*, dengan mencampur PLLA/*Plasticizer* dan PLLA-g-MA/*Plasticizer* dengan solven berupa kloroform. Untuk pembuatan kopolimer PLLA-g-MA dengan teknik grafting dengan cara memanaskan toluen hingga suhu 60°C dalam labu leher tiga, memasukkan PLLA dan MA kedalam labu leher tiga, mengaduk campuran dengan kecepatan 200 rpm pada suhu 60°C, memasukkan *Benzoyl Peroxide* kedalam campuran, diaduk pada kecepatan 200 rpm selama 6 jam. Setelah 6 jam didapatkan produk kopolimer PLLA-g-MA dan solvent yang terkandung dalam kopolimer PLLA-g-MA diuapkan dengan dipanaskan di dalam oven vakum pada suhu 80°C selama 2 jam, hasil kopolimer

dicuci dengan aquadest untuk menghilangkan MA yang tidak *tergrafting* pada PLLA. Konsentrasi campuran PLLA/*Plasticizer* dan PLLA-g-MA sebesar 5% berat total. PLLA dan *Plasticizer* serta PLLA-g-MA dan *Plasticizer* dilarutkan dalam kloroform diaduk pada suhu 60°C dan kecepatan 200 rpm selama 6 jam menggunakan *hotplate*. Selanjutnya proses pencetakan film pada petry dish dan melakukan uji karakteristik film.

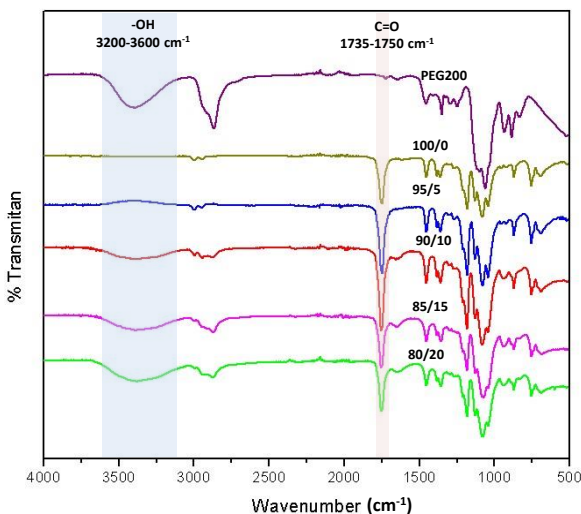
IV.1 Pengaruh penambahan jenis *plasticizer* pada interaksi molekul

Karakterisasi yang bertujuan untuk mengetahui interaksi antar molekul pada suatu material salah satunya dengan menggunakan analisa FT-IR (*Fourier Transform Infra-Red Spectrofotometry*). Analisa ini bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi *Plasticizer* dari campuran PLLA/*Plasticizer*. Gambar IV.1, Gambar IV.2, Gambar IV.3 dan Gambar IV.4 berturut-turut menunjukkan hasil spektra FTIR pada bilangan gelombang 4000 – 400 cm^{-1} dengan variasi campuran PLLA/*Plasticizer* (a) 100/0 ; (b) 95/5 ; (c) 90/10 ; (d) 85/15 ; (e) 80/20 dan Gambar IV.4 menunjukkan hasil campuran PLLA-g-MA/*Plasticizer* (80/20).

Gambar IV.1 menunjukkan hasil FTIR pada PLLA dengan penambahan PEG200. PLLA merupakan suatu poliester dari asam laktat dengan beberapa gugus fungsi dominan seperti *carbonyl ester* (C=O). Gugus fungsi *carbonyl* (C=O) berada pada range wavenumber berada pada range *wavenumber* 1735-1750 cm^{-1} . Terlihat peak PLLA murni berada pada 1747,33 cm^{-1} yang sesuai dengan literatur. PEG200 merupakan polimer sintetik yang larut air dan memiliki kesamaan struktur kimia berupa adanya gugus hidroksil. Gugus fungsi dominan dari PEG200 adalah gugus hidroksil yang berada pada range *wavenumber* 3200-3600 cm^{-1} dari Gambar IV.1 PEG200 murni menunjukkan peak –OH pada 3391,59 cm^{-1} yang sesuai dengan literatur.

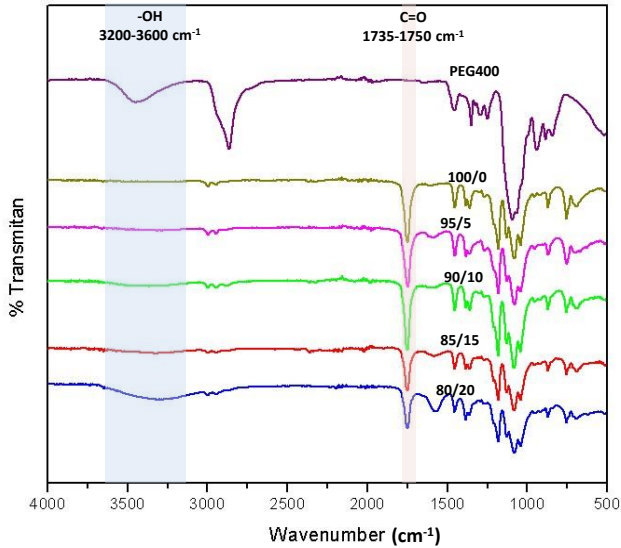
Pada campuran PLLA/PEG200 terlihat peak PLLA berada pada range *wavenumber* 1735-1750 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C=O yang sesuai dengan literatur dan termasuk dalam

gugus fungsi *carbonyl* dan terlihat pula daerah pada range *wavenumber* 3200-3600 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus fungsi -OH pada film. Artinya terjadi interaksi antar rantai PLLA dan PEG200 pada daerah vibrasi gugus hidroksil (Sitompul dkk, 2014). Pada campuran PLLA/PEG200 dengan variabel (95/5), (90/10), (85/15), (80/20) terjadi pergeseran peak, peak yang paling terlihat yaitu pada variabel (80/20) dengan bergesernya gugus *carbonyl* dari 1747,33 cm^{-1} menjadi 1754,61 cm^{-1} dan gugus hidroksil pada 3376,87 cm^{-1} . Hal ini membuktikan bahwa terdapat interaksi antara gugus C=O pada ujung rantai PLLA dengan -OH pada rantai PEG200 dan membentuk ikatan hidrogen. Semakin besar *plasticizer* konten intensitas peak -OH semakin besar atau peak semakin jelas.



Gambar IV.1 Hasil analisa FT-IR (*Fourier Transform Infra-Red Spectrofotometry*) film PLLA/PEG200 variabel (100/0) ; (95/5) ; (90/10) ; (85/15) ; (80/20)

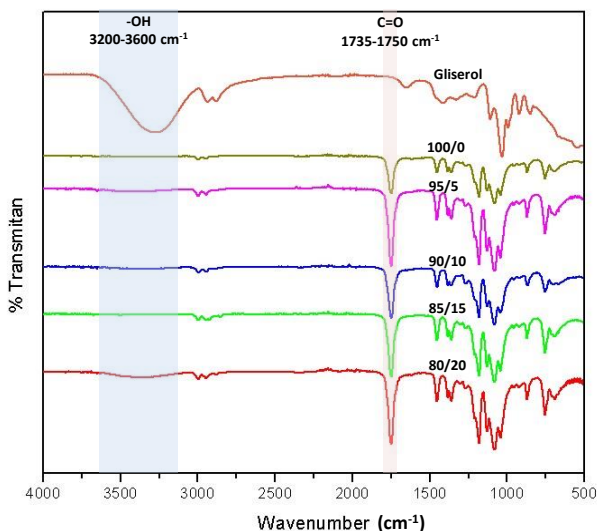
Gambar IV.2 menunjukkan hasil FTIR pada PLLA dengan penambahan PEG400. PEG400 merupakan polimer sintetik yang larut air dan memiliki kesamaan struktur kimia berupa adanya gugus hidroksil. Gugus fungsi dominan dari PEG400 adalah gugus hidroksil (-OH) yang berada pada range *wavenumber* 3200-3600 cm^{-1} dari Gambar IV.1 PEG400 murni menunjukkan peak -OH pada 3450,25 cm^{-1} yang sesuai dengan literatur. Pada campuran PLLA/PEG400 terlihat peak PLLA berada pada range *wavenumber* 1735-1750 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C=O yang sesuai dengan literatur dan termasuk dalam gugus fungsi *carbonyl* dan terlihat pula daerah pada range *wavenumber* 3200-3600 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus fungsi -OH pada film. Artinya terjadi interaksi antar rantai PLLA dan PEG400 pada daerah vibrasi gugus hidroksil (Sitompul, 2014). Pada campuran PLLA/PEG400 dengan variabel (95/5), (90/10), (85/15), (80/20) terjadi pergeseran peak, peak yang paling terlihat yaitu pada variabel (80/20) dengan bergesernya gugus *carbonyl* dari 1747,33 cm^{-1} menjadi 1747,56 cm^{-1} dan gugus hidroksil pada 3310,66 cm^{-1} . Hal ini membuktikan bahwa terdapat interaksi antara gugus C=O pada ujung rantai PLLA dengan -OH pada rantai PEG400 dan membentuk ikatan hidrogen. Semakin besar *plasticizer* konten intensitas peak -OH semakin besar atau peak semakin jelas.



Gambar IV.2 Hasil analisa FT-IR (*Fourier Transform Infra-Red Spectrofotometry*) film PLLA/PEG400 variabel (100/0) ; (95/5) ; (90/10) ; (85/15) ; (80/20)

Gambar IV.3 menunjukkan hasil FTIR pada PLLA dengan penambahan Gliserol. Gliserol adalah senyawa gliserida yang paling sederhana, dengan hidroksil yang bersifat hidrofilik dan higroskopik. Gugus fungsi dominan dari Gliserol adalah gugus hidroksil (-OH) yang berada pada range *wavenumber* 3200-3600 cm⁻¹ dari Gambar IV.3 Gliserol murni menunjukkan peak -OH pada 3273,44 cm⁻¹ yang sesuai dengan literatur. Pada campuran PLLA/Gliserol terlihat peak PLLA berada pada range *wavenumber* 1735-1750 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus C=O yang sesuai dengan literatur dan termasuk dalam gugus fungsi *carbonyl* dan terlihat pula daerah pada range *wavenumber* 3200-3600 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya gugus fungsi -OH pada film. Artinya terjadi interaksi antar rantai PLLA dan Gliserol pada daerah vibrasi gugus hidroksil (Sitompul, 2014). Pada campuran PLLA/Gliserol dengan variabel (95/5), (90/10),

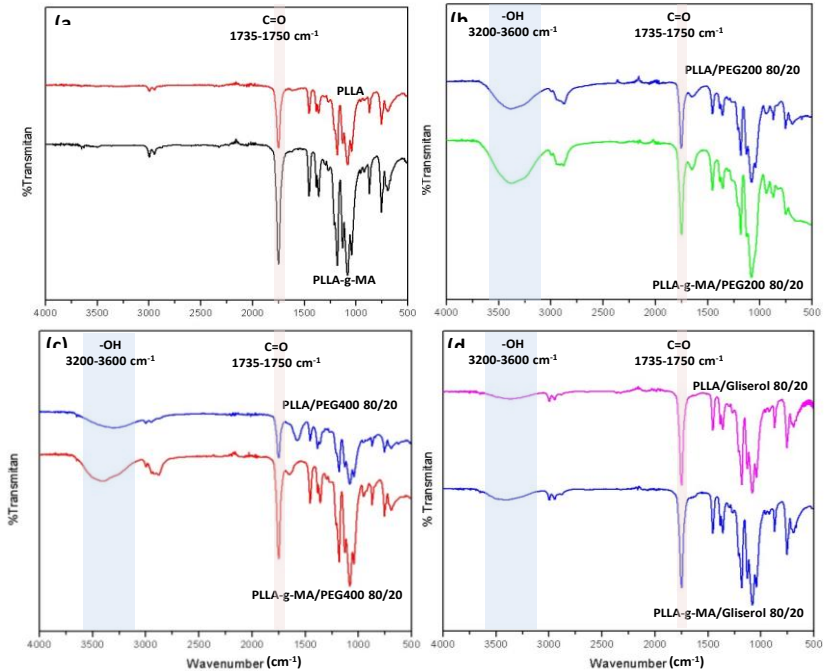
(85/15), (80/20) terjadi pergeseran peak, peak yang paling terlihat yaitu pada variabel (80/20) dengan bergesernya gugus *carbonyl* dari $1747,33\text{ cm}^{-1}$ menjadi $1747,19\text{ cm}^{-1}$ dan gugus hidroksil pada $3368,14\text{ cm}^{-1}$. Hal ini membuktikan bahwa terdapat interaksi antara gugus C=O pada ujung rantai PLLA dengan -OH pada rantai Gliserol dan membentuk ikatan hidrogen. Semakin besar *plasticizer* konten intensitas peak -OH semakin besar atau peak semakin jelas.



Gambar IV.3 Hasil analisa FT-IR (*Fourier Transform Infra-Red Spectrofotometry*) film PLL A/Gliserol variabel (100/0) ; (95/5) ; (90/10) ; (85/15) ; (80/20)

Gambar IV.4 menunjukkan hasil FTIR pada PLLA-g-MA dengan penambahan *Plasticizer* dengan variabel PLLA-g-MA/*Plasticizer* (80/20). MA adalah adalah sebuah senyawa organik dengan rumus kimia $\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_3$, modifikasi PLLA dengan MA bertujuan untuk meningkatkan kompatibilitas dari PLLA terhadap *Plasticizer* (Wang, 2012). Dari Gambar IV.4 dapat dilihat pada film PLLA-g-MA tanpa *plasticizer* gugus fungsi

carbonyl terletak pada $1747,56\text{ cm}^{-1}$, sementara itu setelah ditambahkan Plasticizer terjadi pergeseran peak C=O dan muncul peak -OH. Pada film PLLA-g-MA/PEG200 terlihat peak C=O bergeser menjadi $1748,70\text{ cm}^{-1}$ dan muncul peak gugus hidroksil pada $3375,52\text{ cm}^{-1}$. Pada film PLLA-g-MA/PEG400 terlihat peak C=O bergeser menjadi $1747,07\text{ cm}^{-1}$ dan muncul peak gugus hidroksil pada $3403,23\text{ cm}^{-1}$. Pada film PLLA-g-MA/Gliserol terlihat peak C=O bergeser menjadi $1747,06\text{ cm}^{-1}$ dan muncul peak gugus hidroksil pada $3400,70\text{ cm}^{-1}$. Perbandingan antara film pada PLLA tanpa modifikasi dan PLLA yang telah dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar (a) menunjukkan perbandingan analisa gugus fungsi PLLA murni dan PLLA-g-MA. Terlihat peak PLLA murni berada pada $1747,33\text{ cm}^{-1}$ sedangkan pada PLLA-g-MA peak gugus fungsi *carbonyl* berada pada $1747,56\text{ cm}^{-1}$. Gambar (b) menunjukkan perbandingan analisa gugus fungsi antara PLLA/PEG200 dan PLLA-g-MA/PEG200. Pada campuran PLLA/PEG200 terlihat peak *carbonyl* yang berada pada $1754,61\text{ cm}^{-1}$ dan peak gugus hidroksil pada $3376,87\text{ cm}^{-1}$ sedangkan pada PLLA-g-MA/PEG200 terlihat peak *carbonyl* yang berada pada $1748,70\text{ cm}^{-1}$ dan peak gugus hidroksil pada $3375,52\text{ cm}^{-1}$. Gambar (c) menunjukkan perbandingan analisa gugus fungsi antara PLLA/PEG400 dan PLLA-g-MA/PEG400. Pada campuran PLLA/PEG400 terlihat peak *carbonyl* yang berada pada $1747,56\text{ cm}^{-1}$ dan peak gugus hidroksil pada $3310,66\text{ cm}^{-1}$ sedangkan pada PLLA-g-MA/PEG400 terlihat peak *carbonyl* yang berada pada $1747,07\text{ cm}^{-1}$ dan peak gugus hidroksil pada $3403,23\text{ cm}^{-1}$. Gambar (c) menunjukkan perbandingan analisa gugus fungsi antara PLLA/Gliserol dan PLLA-g-MA/Gliserol. Pada campuran PLLA/Gliserol terlihat peak *carbonyl* yang berada pada $1747,19\text{ cm}^{-1}$ dan peak gugus hidroksil pada $3368,14\text{ cm}^{-1}$ sedangkan pada PLLA-g-MA/Gliserol terlihat peak *carbonyl* yang berada pada $1747,06\text{ cm}^{-1}$ dan peak gugus hidroksil pada $3400,70\text{ cm}^{-1}$. Dari hasil analisa FTIR terlihat pergeseran peak paling besar adalah pada campuran film PLLA-g-MA/PEG200 pada peak *carbonyl* $1748,70\text{ cm}^{-1}$ dan peak hidroksil $3375,52\text{ cm}^{-1}$.

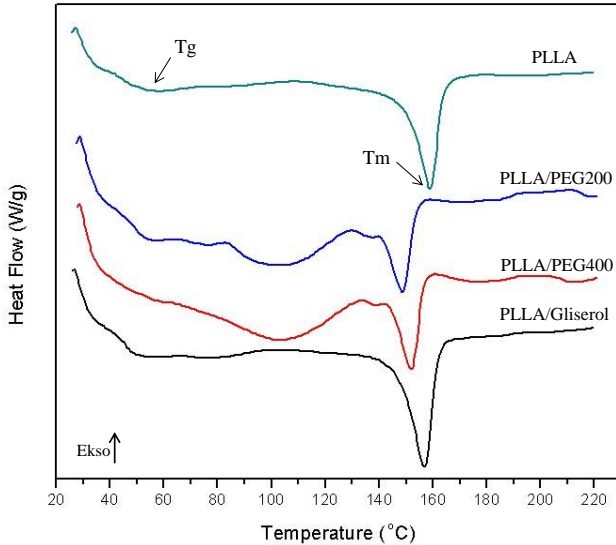


Gambar IV.4 Hasil analisa FT-IR (*Fourier Transform Infra-Red Spectrofotometry*) film PLLA-g-MA/*Plasticizer* (a) PLLA murni dan PLLA-g-MA; (b) PLLA/PEG200 (80/20) dan PLLA-g-MA/PEG200 (80/20); (c) PLLA/PEG400 (80/20) dan PLLA-g-MA/PEG400 (80/20); (d) PLLA/Gliserol (80/20) dan PLLA-g-MA/Gliserol (80/20)

IV.2 Pengaruh penambahan jenis *plasticizer* pada Sifat Termal PLLA

Properti termal diukur dengan menggunakan *Differential Scanning Calorimetric* (DSC). Analisa DSC digunakan untuk mengkarakterisasi properti termal dari PLLA murni, PLLA/*Plasticizer* dan PLLA-g-MA/*Plasticizer*. Gambar IV.5 Dan Gambar IV.6 berturut-turut menjelaskan efek penambahan

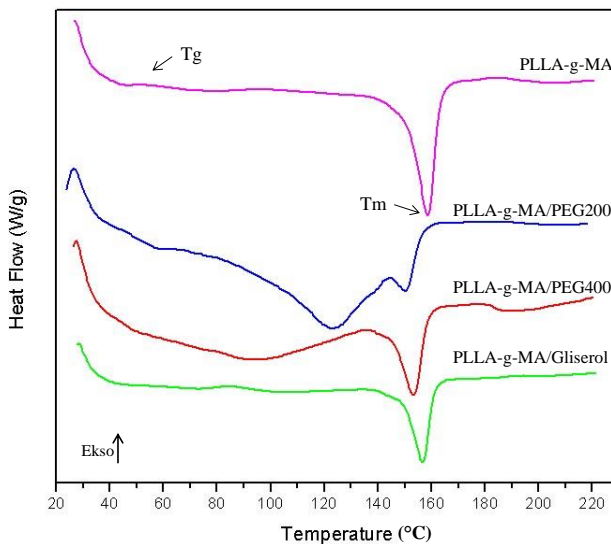
Plasticizer konten terhadap Properti Thermal PLLA dan PLLA-g-MA. Tabel IV.1 meringkas nilai *glass transition temperature* (Tg), *melting temperature* (Tm) dan ΔH dari masing-masing campuran. Berdasarkan literatur nilai Tg dan Tm PEG200 adalah -86°C dan -65°C, nilai Tg dan Tm PEG400 adalah -78°C dan 4-8°C, nilai Tg dan Tm Gliserol adalah -87°C dan 20°C, Dari Gambar IV.5 untuk film PLLA murni menunjukkan nilai Tg 43,22°C, sedangkan nilai Tg PLLA/PEG200 (80/20) adalah 40,54°C, nilai Tg PLLA/PEG400 (80/20) adalah 41,13°C, nilai Tg PLLA/Gliserol (80/20) adalah 42,47°C. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Sungsanit (2011) bahwa nilai Tg mengalami penurunan dengan ditambahkannya *plasticizer*. Polimer *chain mobility* dari plla semakin besar sehingga menurunkan nilai Tg, hal itu menunjukkan polimer tersebut semakin elastis. Untuk film PLLA menunjukkan nilai Tm sebesar 159,06°C, sedangkan nilai Tm PLLA/PEG200 (80/20) adalah 148,62°C, nilai Tm PLLA/PEG400 (80/20) adalah 151,80°C, nilai Tm PLLA/Gliserol (80/20) adalah 156,79°C. Terjadi sedikit penurunan nilai Tm pada campuran PLLA/*Plasticizer*, hal ini karena nilai Tm dari *Plasticizer* mempengaruhi nilai Tm dalam campuran.



Gambar IV.5 Kurva DSC dari PLLA murni dan PLLA/*Plasticizer* (80/20)

Dari Gambar IV.6 untuk film PLLA-g-MA menunjukkan nilai T_g 43,41°C, sedangkan nilai T_g PLLA-g-MA/PEG200 (80/20) adalah 39,1°C, nilai T_g PLLA-g-MA/PEG400 (80/20) adalah 39,66°C, nilai T_g PLLA-g-MA /Gliserol (80/20) adalah 41,67°C. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Sungsanit (2011) bahwa nilai T_g mengalami penurunan dengan ditambahkan *plasticizer*. *Polymer chain mobility* dari plla semakin besar sehingga menurunkan nilai T_g , hal itu menunjukkan polimer tersebut semakin elastis. Untuk film PLLA menunjukkan nilai T_m sebesar 158,53°C, sedangkan nilai T_m PLLA/PEG200 (80/20) adalah 150,40°C, nilai T_m PLLA/PEG400 (80/20) adalah 153,04°C, nilai T_m PLLA/Gliserol (80/20) adalah 156,59°C. Terjadi sedikit penurunan nilai T_m pada campuran PLLA/*Plasticizer*, hal ini karena nilai T_m dari *Plasticizer* mempengaruhi nilai T_m dalam campuran.

Dari Tabel IV.1 Terlihat perbedaan antara nilai T_g , T_m dan ΔH antara film PLLA dan PLLA-g-MA setelah ditambahkan *Plasticizer*. Nilai T_g pada campuran PLLA-g-MA terlihat lebih rendah dibanding dengan PLLA tanpa modifikasi MA ini terjadi karena pada PLLA dengan modifikasi MA dispersi *Plasticizer* lebih besar sehingga nilai T_g dan T_m dari *Plasticizer* lebih mempengaruhi nilai T_g dan T_m dari campuran. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Wang (2012) yang mengatakan bahwa PLLA yang telah dimodifikasi dengan MA akan lebih kompatibel.



Gambar IV.6 Kurva DSC dari PLLA-g-MA murni dan PLLA-g-MA/*Plasticizer* (80/20)

Tabel IV.1 Efek penambahan jenis *plasticizer* terhadap Properti Thermal dari campuran PLLA/*Plasticizer* dan PLLA-g-MA/*Plasticizer*

Penambahan	PLLA/ <i>Plasticizer</i>			PLLA-g-MA/ <i>Plasticizer</i>		
	Tg (°C)	Tm (°C)	ΔH (J/g)	Tg (°C)	Tm (°C)	ΔH (J/g)
	43,22	159,06	19,85	43,41	158,53	18,13
PEG200	40,54	148,62	6,51	39,1	150,40	3,13
PEG400	41,13	151,80	7,42	39,66	153,04	9,31
Gliserol	42,47	156,79	13,35	41,67	156,59	10,03

IV.3 Pengaruh penambahan jenis *plasticizer* terhadap kristalinitas film PLLA

Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui nilai derajat kristalinitas salah satunya yaitu menggunakan analisa XRD (*X-Ray Diffraction*). Difraksi sinar X dalam material padatan juga dimanfaatkan untuk mengetahui derajat kristalinitas dari suatu pembuatan film. Hasil analisa XRD ditunjukkan pada Gambar IV.7 dibawah ini.

Untuk mengetahui nilai dari derajat kristalinitas film PLLA murni dapat menggunakan metode luas area. PLLA murni memiliki luas total sebesar 126.326 dengan luas amorf 101.092,3 sehingga didapatkan nilai derajat kristalinitas sebesar 19,97%. Penentuan derajat kristalinitas dapat dihitung melalui rumus sebagai berikut :

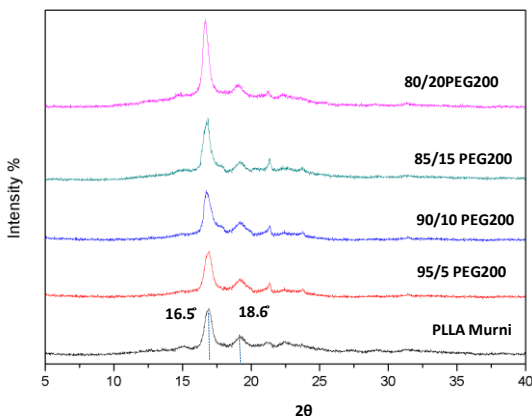
$$\text{Crl (\%)} = \frac{(\text{Luas Total} - \text{Luas Amorf})}{\text{Luas Total}} \times 100\%$$

Keterangan : Crl (%) = derajat kristalinitas

Dari Tabel IV.2 dapat dilihat bahwa adanya peningkatan nilai kristalinitas dengan adanya penambahan *plasticizer* PEG200. Adanya peningkatan kristalinitas dapat dijelaskan dengan hasil analisa DSC yang menunjukkan bahwa semakin banyak *plasticizer* PEG200 yang ditambahkan maka nilai *Glass Temperature* (Tg) semakin menurun. Adanya kristal pada pembentukan film dapat dipengaruhi oleh nilai Tg, semakin

mendekati nilai T_g maka semakin banyak kristal yang terbentuk. Hal ini sesuai dengan hasil analisa XRD untuk menghitung nilai kristalinitas dengan adanya penambahan PEG200. Perhitungan nilai kristalinitas PLLA dihitung menggunakan *software* ImageJ, hasilnya menyebutkan PLLA murni memiliki nilai kristalinitas 19,97%, dengan adanya penambahan PEG200 dengan % berat 5%;10%;15%;20% masing-masing memiliki nilai 28%; 32,43%; 33,79%; 42,544%. Hasil analisa XRD ditunjukkan pada Gambar IV.7.

Pada Gambar IV.7 Kurva PLLA murni menunjukkan adanya dua pantulan pada 2θ yaitu $16,5^\circ$ dan $18,6^\circ$ kristal α -form PLLA. Menurut Feng-Jiao Li (2015) setelah penambahan PEG intensitas difraksi pantulan kristal α -form PLLA menjadi sangat jelas dan memiliki peak yang lebih tajam daripada PLLA murni sehingga menandakan bahwa *plasticizer* dapat membentuk lebih kristal α -form PLLA. Penambahan PEG dapat meningkatkan mobilitas rantai PLLA, sebagai hasilnya penambahan PEG pada PLLA dapat meningkatkan kristalinitas.

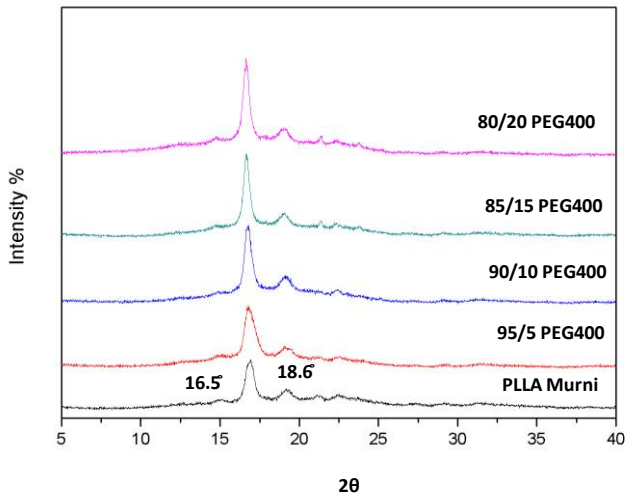


Gambar IV.7 Hasil Analisa X-Ray Diffraction yang Menunjukkan Nilai Kristalinitas *Film* PLLA/PEG200 Variabel 100/0 ; 95/5 ; 90/10 ; 85/15 ; 80/20

Tabel IV.2 Hasil Perhitungan Kristalinitas Film PLLA/PEG200

NO	Variabel PLLA/PEG 200	Luas Total	LuasAmorf	CrI (%)
1.	100/0	126.326	101.092,3	19,97
2.	95/5	38.136	27.455,67	28
3.	90/10	95.897	64.800	32,43
4.	85/15	77.288,33	51.168	33,79
5.	80/20	65.701	37.749,33	42,544

Dari Tabel IV.3 dapat dilihat bahwa adanya peningkatan nilai kristalinitas dengan adanya penambahan *plasticizer* PEG400. Adanya peningkatan kristalinitas dapat dijelaskan dengan hasil analisa DSC yang menunjukkan bahwa semakin banyak *plasticizer* PEG400 yang ditambahkan maka nilai *Glass Temperature* (Tg) semakin menurun. Adanya kristal pada pembentukan film dapat dipengaruhi oleh nilai Tg, semakin mendekati nilai Tg maka semakin banyak kristal yang terbentuk. Hal ini sesuai dengan hasil analisa XRD untuk menghitung nilai kristalinitas dengan adanya penambahan PEG400. Perhitungan nilai kristalinitas PLLA dihitung menggunakan *software* ImageJ, hasilnya menyebutkan PLLA murni memiliki nilai kristalinitas 19,97%, dengan adanya penambahan PEG400 dengan % berat 5%;10%;15%;20% masing-masing memiliki nilai 20,70%; 24,03%; 25,70%; 26,22%. Hasil analisa XRD ditunjukkan pada Gambar IV.8.



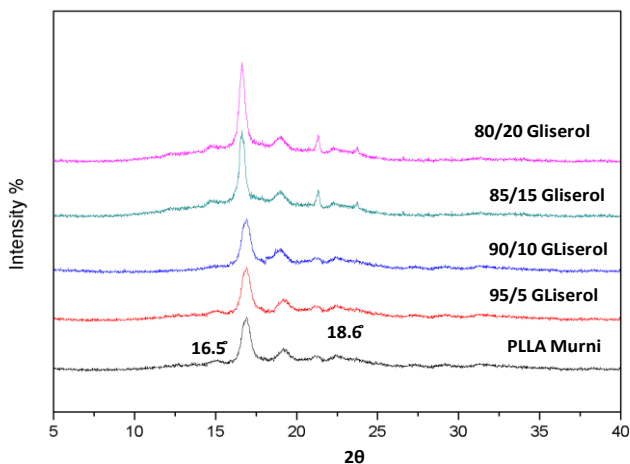
Gambar IV.8 Hasil Analisa X-Ray Diffraction yang Menunjukkan Nilai Kristalinitas *Film* PLLA/PEG400 Variabel 100/0 ; 95/5 ; 90/10 ; 85/15 ; 80/20

Tabel IV.3 Hasil Perhitungan Kristalinitas Film PLLA/PEG400

NO	Variabel PLLA/PEG400	Luas Total	LuasAmorf	Crl (%)
1.	100/0	126.326	101.092,3	19,97
2.	95/5	125.237	99.310	20,70
3.	90/10	120.808	91.780,67	24,03
4.	85/15	148.751	110.508	25,70
5.	80/20	122.026,3	90.035,67	26,22

Dari Tabel IV.4 dapat dilihat bahwa adanya peningkatan nilai kristalinitas dengan adanya penambahan *plasticizer*. Adanya kristal pada pembentukan film dapat dipengaruhi oleh nilai Tg,

semakin mendekati nilai T_g maka semakin banyak kristal yang terbentuk. Hal ini sesuai dengan hasil analisa XRD untuk menghitung nilai kristalinitas dengan adanya penambahan Gliserol. Perhitungan nilai kristalinitas PLLA dihitung menggunakan *software* ImageJ, hasilnya menyebutkan PLLA murni memiliki nilai kristalinitas 19,97%, dengan adanya penambahan gliserol dengan % berat 5%;10%;15%;20% masing-masing memiliki nilai 30,04%; 32,59%; 34,07%; 38,47%. Hasil analisa XRD ditunjukkan pada Gambar IV.9.



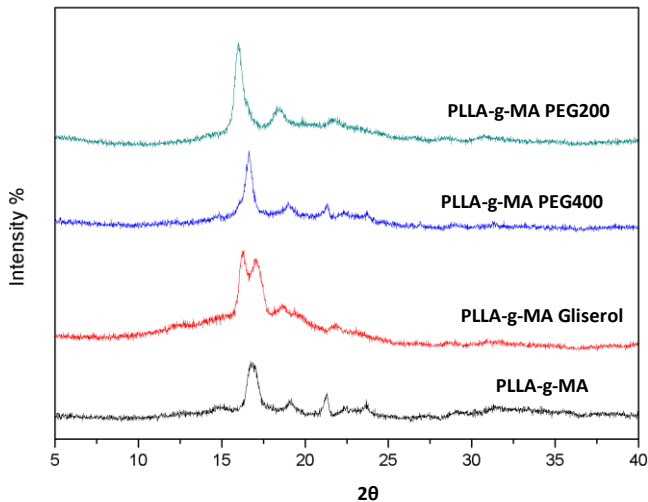
Gambar IV.9 Hasil Analisa X-Ray Diffraction yang Menunjukkan Nilai Kristalinitas Film PLLA/Gliserol Variabel 100/0; 95/5 ; 90/10 ; 85/15 ; 80/20

Tabel IV.4 Hasil Perhitungan Kristalinitas Film
PLLA/Gliserol

NO	Variabel PLLA/Gliserol	Luas Total	LuasAmorf	Crl (%)
1.	100/0	126.326	101.092,3	19,97
2.	95/5	81.661,33	57.129,67	30,04
3.	90/10	113.616	76.590,67	32,59
4.	85/15	71.613,67	47.216,67	34,07
5.	80/20	54.336,33	33.430,67	38,47

Dari Tabel IV.5 dapat dilihat bahwa adanya peningkatan nilai kristalinitas pada film PLLA-g-MA dengan adanya penambahan *plasticizer*. Perhitungan nilai kristalinitas PLLA dihitung menggunakan *software* ImageJ, hasilnya menyebutkan PLLA-g-MA memiliki nilai kristalinitas 34,589%, dengan adanya penambahan Gliserol, PEG400, PEG200 masing-masing memiliki nilai 39,385%; 41,538%; 45,66%. Hasil analisa XRD ditunjukkan pada Gambar IV.10 dapat dilihat nilai kristalinitas tertinggi adalah pada film PLLA-g-MA/PEG200, hal ini karena PEG200 terdispersi lebih baik kedalam matriks PLLA yang telah dimodifikasi. Adanya peningkatan kristalinitas dapat dijelaskan dengan hasil analisa DSC yang menunjukkan bahwa semakin banyak *plasticizer* PEG200 yang ditambahkan maka nilai *Glass Temperature* (Tg) semakin menurun. Adanya kristal pada pembentukan film dapat dipengaruhi oleh nilai Tg, semakin mendekati nilai Tg maka semakin banyak kristal yang terbentuk. Kristalinitas tertinggi pada PLLA tanpa modifikasi adalah pada film PLLA/PEG200 yaitu sebesar 42,544% sedangkan kristalinitas tertinggi pada PLLA modifikasi adalah pada film PLLA-g-MA/PEG200 yaitu sebesar 45,66%. Sehingga kristalinitas pada PLLA yang telah dimodifikasi cenderung lebih tinggi. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Wang (2012) yang mengatakan bahwa PLLA yang telah

dimodifikasi dengan MA akan lebih kompatibel. Sehingga lebih mudah terjadi pwncampuran antara matriks PLLA dengan *plasticizer*.



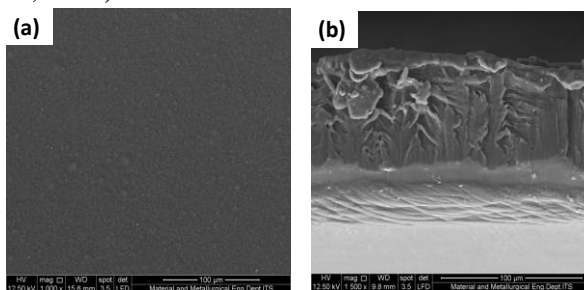
Gambar IV.10 HasilAnalisa X-Ray Diffraction yang Menunjukkan Nilai Kristalinitas Film PLLA-g-MA dengan *Plasticizer*

Tabel IV.5 Hasil Perhitungan Kristalinitas Film PLLA-g-MA dengan *Plasticizer*

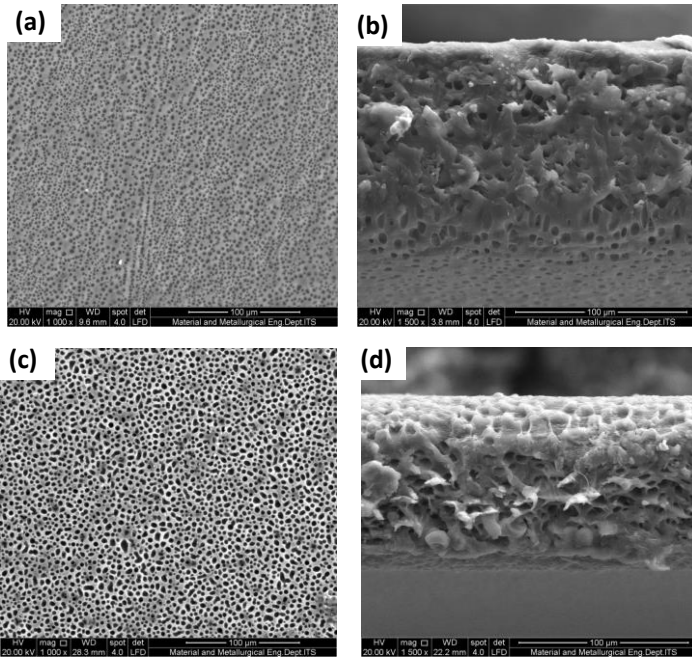
NO	Variabel PLLA-g-MA	Luas Total	Luas Amorf	CrI (%)
1.	PLLA-g-MA	63.776,67	41.716,67	34,589
2.	PLLA-g-MA/Gliserol	66.468,67	40.289,67	39,385
3.	PLLA-g-MA/PEG400	69.488,67	40.624	41,538
4.	PLLA-g-MA/PEG200	44.540,33	24.202,67	45,66

IV.4 Pengaruh penambahan jenis *plasticizer* pada Morfologi PLLA

Analisa SEM (*Scanning Electron Microscopy*) bertujuan untuk mengetahui morfologi sampel film. Hasil SEM menunjukkan dispersi *Plasticizer* pada matriks PLLA. Pada permukaan dan patahan film dapat dilihat perbandingan morfologi PLLA murni, PLLA yang ditambahkan *Plasticizer* dan PLLA yang telah dimodifikasi oleh MA. Gambar IV.11 sampai Gambar IV.15 menunjukkan morfologi film pada permukaan dengan perbesaran 1000x dan pada patahan dengan perbesaran 1500x. Gambar IV.11 menunjukkan morfologi PLLA murni, gambar (a) dari permukaan film PLLA murni dan gambar (b) dari patahan film PLLA murni. Gambar IV.12 menunjukkan morfologi PLLA/PEG200 dengan variabel (90/10) dan (80/20) dapat dilihat bahwa dengan penambahan PEG200 dapat merubah morfologi PLLA murni. Menurut Bijarimi (2015) PEG terdispersi seperti *droplet* pada matriks PLLA dengan batasan yang terlihat antara matriks PLLA dengan fase PEG, sehingga ada *phase separation* yang terlihat ketika solvent menguap. *Phase separation* yang terjadi ketika solvent menguap membuat morfologi film menjadi berpori. Distribusi PEG200 semakin terlihat dengan meningkatnya jumlah PEG200 konten yang ditambahkan (Sungsanit, 2011).



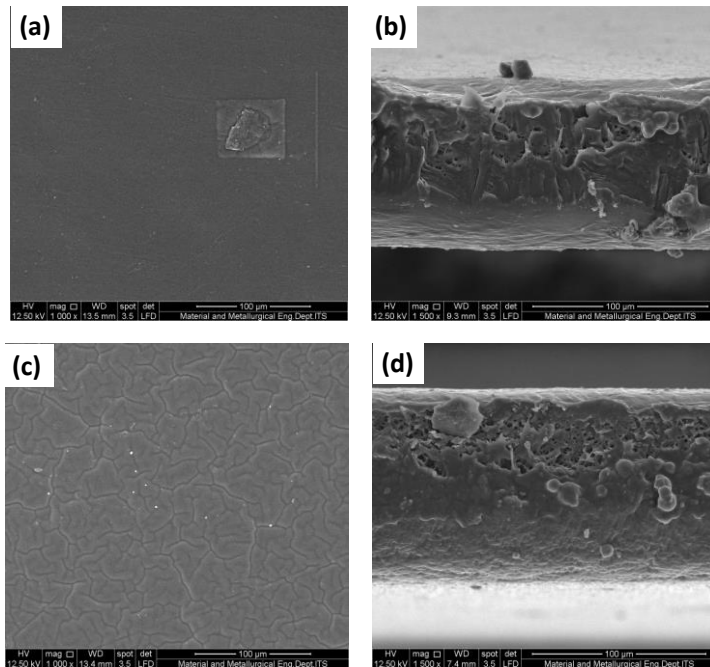
Gambar IV.11 Hasil analisa SEM (*Scanning Electron Microscopy*) film PLLA murni (a) Permukaan PLLA murni ; (b) Patahan PLLA murni



Gambar IV.12 Hasil analisa SEM (*Scanning Electron Microscopy*) film dengan variabel (a) Permukaan PLLA /PEG200 (90/10) ; (b) Patahan PLLA/PEG200 (90/10) ; (c) Permukaan PLLA/PEG200(80/20) ; (d) Patahan PLLA/PEG200 (80/20)

Gambar IV.13 menunjukkan morfologi PLLA/PEG400 dengan variabel (90/10) dan (80/20) dapat dilihat bahwa dengan penambahan PEG400 dapat merubah morfologi PLLA murni (Gambar IV.11). Menurut Bijarimi (2015) PEG terdispersi seperti *droplet* pada matriks PLLA dengan batasan yang terlihat antara matriks PLLA dengan fase PEG, sehingga ada *phase separation* yang terlihat ketika solvent menguap. *Phase separation* yang terjadi ketika solvent menguap membuat morfologi film menjadi berpori. Distribusi PEG400 semakin terlihat dengan

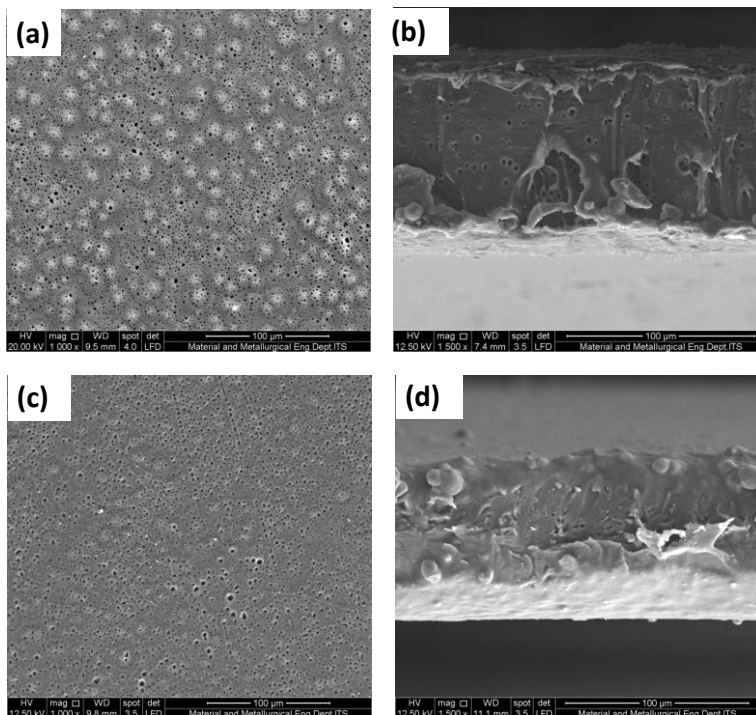
meningkatnya jumlah PEG400 konten yang ditambahkan (Sungsanit, 2011).



Gambar IV.13 Hasil analisa SEM (*Scanning Electron Microscopy*) film dengan variabel (a) Permukaan PLLA/PEG400 (90/10) ; (b) Patahan PLLA /PEG400 (90/10) ; (c) Permukaan PLLA/PEG 400 (80/20) ; (b) Patahan PLLA /PEG400 (80/20)

Gambar IV.14 menunjukkan morfologi PLLA/Gliserol dengan variabel (90/10) dan (80/20) dapat dilihat bahwa dengan penambahan gliserol dapat merubah morfologi PLLA murni (Gambar IV.11). Hampir sama dengan PEG200 dan PEG400, penambahan gliserol pada matriks PLLA dapat terlihat dengan munculnya seperti *droplet*, namun tidak terlalu nampak seperti pada penambahan PEG tersebut. *Phase separation* yang terjadi

ketika solvent menguap membuat morfologi film menjadi berpori. Distribusi gliserol semakin terlihat dengan meningkatnya jumlah gliserol konten yang ditambahkan.

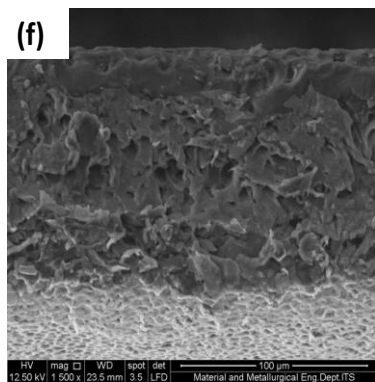
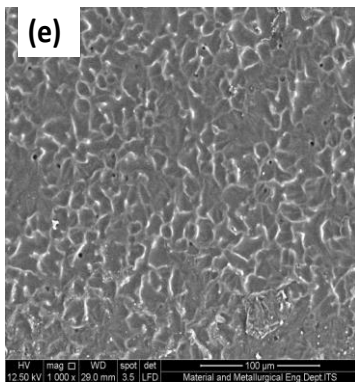
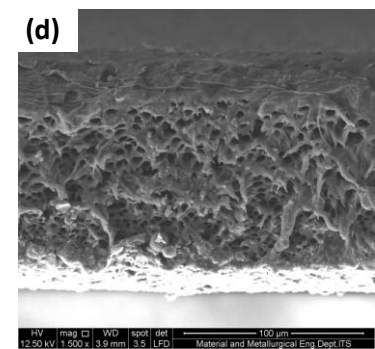
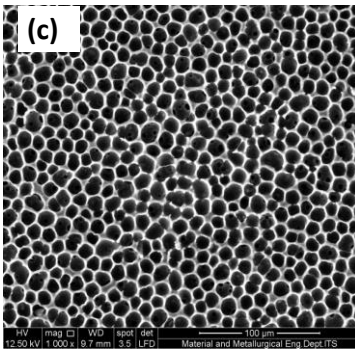
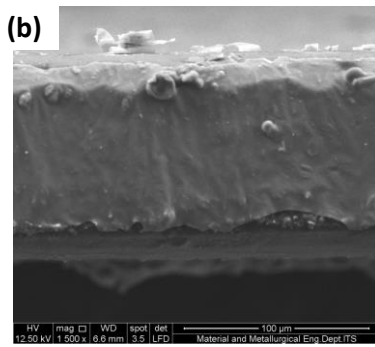
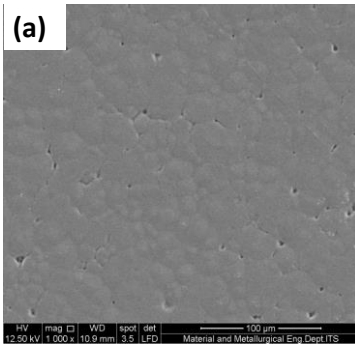


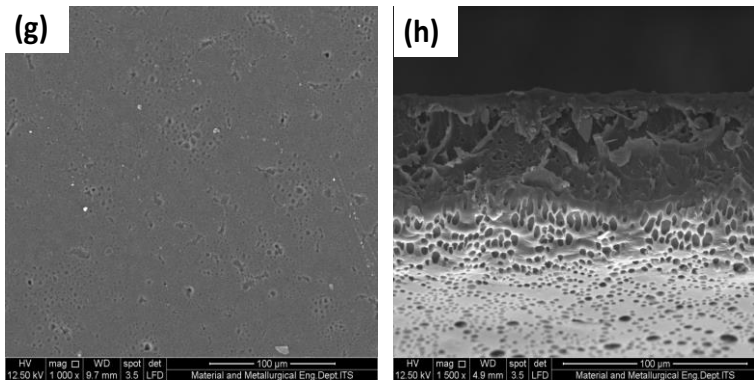
Gambar IV.14 Hasil analisa SEM (*Scanning Electron Microscopy*) film dengan variabel (a) Permukaan PLLA/Gliserol (90/10) ; (b) Patahan PLLA/Gliserol (90/10) ; (c) Permukaan PLLA/Gliserol (80/20) ; (d) Patahan PLLA/Gliserol (80/20)

Gambar IV.15 (a-b) menunjukkan morfologi PLLA-g-MA tanpa penambahan *Plasticizer*, gambar (a) permukaan film PLLA-g-MA dan gambar (b) patahan film PLLA-g-MA. Gambar IV.15 (c-h) menunjukkan morfologi permukaan dan patahan PLLA-g-MA/*Plasticizer* dengan variabel (80/20) dapat dilihat

bahwa dengan penambahan *Plasticizer* dapat merubah morfologi PLLA-g-MA (Gambar IV.15 (a) dan (b)). *Plasticizer* terdispersi seperti *droplet* pada matriks PLLA dengan batasan yang terlihat antara matriks PLLA dengan fase *Plasticizer*, sehingga ada *phase separation* yang terlihat ketika solvent menguap. *Phase separation* yang terjadi ketika solvent menguap membuat morfologi film menjadi berpori. Pada PLLA-g-MA/*Plasticizer* terlihat *Plasticizer* terdispersi lebih besar dan lebih baik pada PLLA-g-MA jika dibandingkan pada film PLLA/*Plasticizer*, hal ini dapat terjadi karena saat modifikasi PLLA dengan MA meningkatkan kompatibilitas PLLA (Wang dkk, 2012).

Dari hasil analisa SEM dapat dilihat bahwa penambahan jenis plasticizer akan mempengaruhi morfologi film PLLA murni, pada campuran film PLLA/PEG200 terlihat *droplets* lebih banyak pada matriks PLLA jika dibandingkan dengan campuran PLLA/PEG400 dan PLLA/Gliserol. Hal tersebut terjadi karena efisiensi plasticizer sebagai pemlastis akan meningkat dengan menurunnya BM PEG (Sungsanit, 2011), dengan kata lain PEG200 akan terdispersi lebih baik kedalam matriks PLLA dibandingkan PEG400. Sedangkan untuk gliserol jika dibandingkan dengan PEG, terlihat lebih sedikit *droplets* yang terjadi pada campuran PLLA/Gliserol karena gliserol yang terdispersi kedalam matriks PLLA tidak sebaik PEG atau kurang kompatibel dibandingkan campuran PLLA/PEG.





Gambar IV.15 Hasil analisa SEM (*Scanning Electron Microscopy*) film dengan variabel (a) Permukaan PLLA-g-MA ; (b) Patahan PLLA-g-MA ; (c) Permukaan PLLA-g-MA/PEG200 (80/20) ; (d) Patahan PLLA-g-MA/PEG200 (80/20) ; (e) Permukaan PLLA-g-MA/ PEG400 (80/20) ; (f) Patahan PLLA-g-MA/ PEG400 80/20 ; (g) Permukaan PLLA-g-MA/Gliserol (80/20) ; (h) Patahan PLLA-g-MA/Gliserol (80/20)

IV.5 Pengaruh penambahan Plasticiser pada properti Mekanik Film

Uji mekanik ini bertujuan untuk mengetahui properti mekanik dari PLLA/PEG200, seperti *tensile strength*, *modulus young*, dan *elongation at break*. Properti mekanik dari PLLA/PEG200 diuji menggunakan *Differential Mechanical Analyze* (DMA). Pengaruh uji mekanik pada PLLA/PEG200 film, seperti *tensile strength* dan *elongation at break* digambarkan pada Gambar IV.16 dan nilai *modulus young* digambarkan pada Gambar IV.17. Data kuantitatif diperlihatkan pada Tabel IV.6.

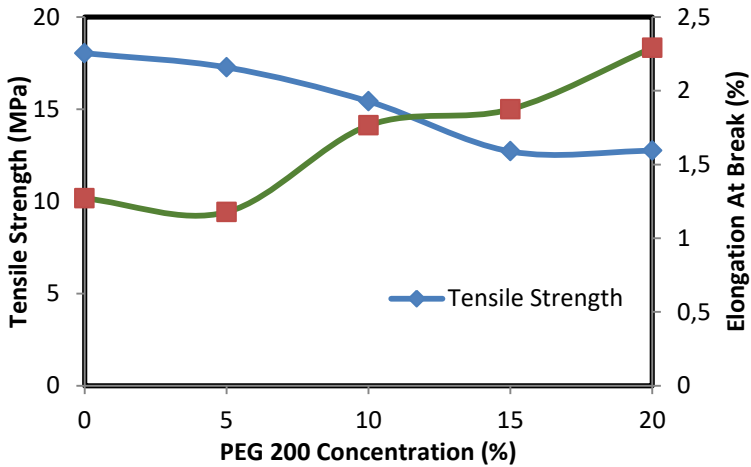
Hasil uji kuat tarik (*tensile strength*) menunjukkan peningkatan konsentrasi PEG200 akan menurunkan nilai kuat tarik film yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kisaran nilai kuat tarik PLLA murni tanpa adanya PEG200 memiliki nilai kuat tarik 18,04 MPa dan ketika ditambahkan

PEG200 pada konsentrasi 5%;10%;15% masing-masing mengalami penurunan yaitu 17,27 MPa; 15,43 MPa; 12,71 MPa dan penambahan 20% tidak mengalami penurunan yang signifikan yaitu 12,75 MPa. Menurut Sungsanit dkk (2012) secara umum penurunan nilai *tensile strength* pada pencampuran PLLA dan PEG200 menjadi kurang *rigid* pada saat penambahan PEG200 disebabkan karena adanya *phase separation* dari PEG200 yang ditunjukkan pada analisa SEM. Menurut Sheth Mihir (1996) juga menyebutkan bahwa penurunan nilai Tg pada analisa DSC dapat menurunkan nilai *tensile strength* dengan adanya penambahan PEG.

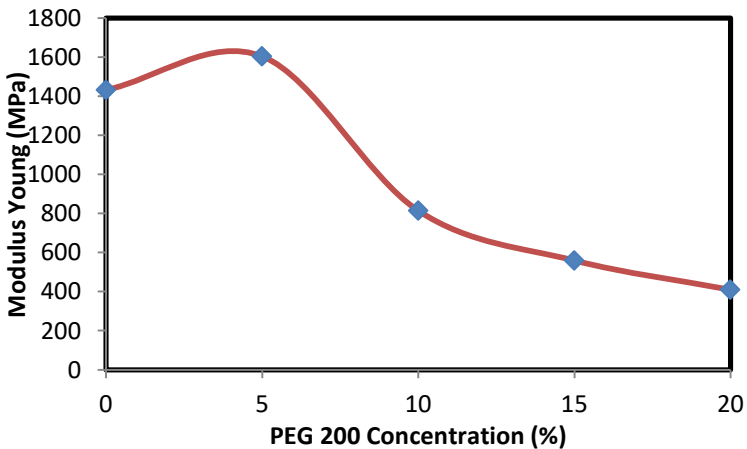
Hasil uji persen perpanjangan (*elongation at break*) menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi PEG200 akan menaikkan nilai persen perpanjangan film PLLA/PEG200 yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian, nilai persen perpanjangan yaitu pada konsentrasi 5%, 10%, 15%, dan 20% berturut-turut semakin meningkat sebesar 1,18%, 1,76%, 1,87%, 2,29%, meskipun PLLA murni memiliki nilai *elongation at break* sebesar 1,27%. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Sungsanit (2012). Begitu juga Handayani (2010) menyebutkan bahwa *plasticizer* akan memberikan efek lebih mudah diulur dan ditarik sehingga menyebabkan film lebih panjang dan akan mempunyai nilai persentase perpanjangan yang lebih besar. Grafik penurunan nilai *tensile strength* dan kenaikan *elongation at break* ditunjukkan pada Gambar IV.16.

Nilai *Modulus Young* dapat diperoleh dari slope titik awal hingga titik akhir yang membentuk garis lurus sebelum titik maksimum dari kurva stress-strain. Hasil uji *modulus young* menunjukkan bahwa dapat dilihat nilai *modulus young* cenderung turun seiring kenaikan konsentrasi *plasticizer* PEG200. Dapat dilihat pada grafik bahwa pembuatan film PLLA murni tanpa penambahan PEG200 memiliki nilai *modulus young* 1432 MPa, ketika ditambahkan PEG200 pada konsentrasi 5%, 10%, 15% dan 20% memiliki nilai *modulus young* secara berturut-turut semakin

menurun yaitu 1604 Mpa; 813,90 Mpa; 559,10 Mpa; dan 409,20 Mpa. Grafik *modulus young* ditunjukkan pada Gambar IV.17.



Gambar IV.16 *Tensile Strength & Elongation At Break Film PLLA/PEG200 Variabel 100/0; 95/5; 90/10; 85/15; 80/20*



Gambar IV.17 *Modulus Young Film PLLA/PEG200 Variabel 100/0 ; 95/5 ; 90/10 ; 85/15 ; 80/20*

Tabel IV.6 Properti Mekanik *Film PLLA/PEG 200*

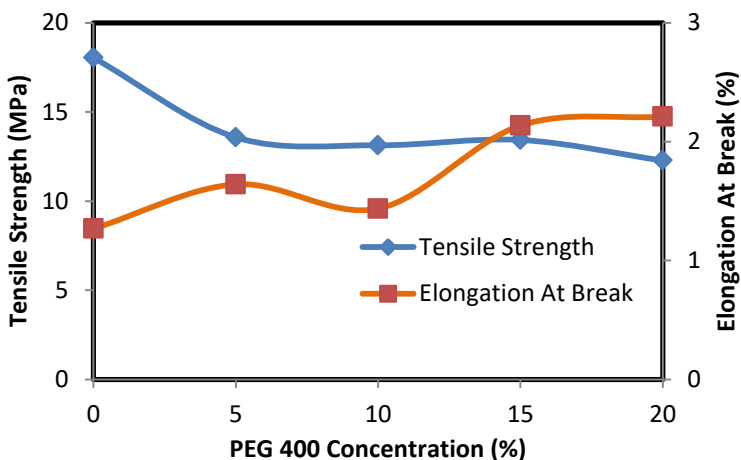
Komposisi PLLA/PEG 200	<i>Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Modulus Young</i> (MPa)	<i>Elongation At Break</i> (%)
100/0	18,04	1432	1,27
95/5	17,27	1604	1,18
90/10	15,43	813,90	1,76
85/15	12,71	559,10	1,87
80/20	12,75	409,20	2,29

Hasil uji kuat tarik (*tensile strength*) menunjukkan peningkatan konsentrasi PEG400 akan menurunkan nilai kuat tarik film yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kisaran nilai kuat tarik tanpa adanya PEG400 memiliki nilai kuat tarik 18,04 MPa dan ketika ditambahkan PEG400 pada konsentrasi 5%; 10%; 15%; 20% masing-masing mengalami penurunan yaitu 13,58 MPa; 13,13 MPa; 13,43 MPa; 12,27 MPa. Menurut Sungsanit dkk (2012) secara umum penurunan nilai *tensile strength* pada pencampuran PLLA dan PEG400 menjadi kurang *rigid* pada saat penambahan PEG400 disebabkan karena adanya *phase separation* dari PEG400 yang ditunjukkan pada analisa SEM. Menurut Sheth Mihir (1996) juga menyebutkan bahwa penurunan nilai Tg dapat menurunkan nilai *tensile strength* dengan adanya penambahan PEG.

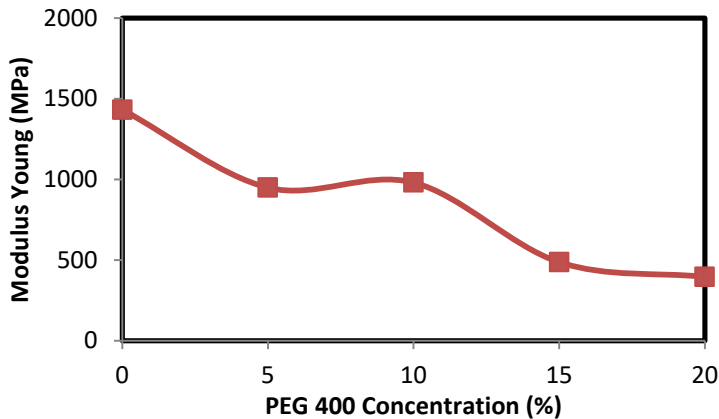
Hasil uji persen perpanjangan (*elongation at break*) menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi PEG400 akan menaikkan nilai persen perpanjangan film PLLA/PEG400 yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian, nilai persen perpanjangan yaitu pada tanpa adanya penambahan PEG400 yaitu sebesar 1,27% sedangkan pada penambahan konsentrasi 5%, 10%, 15%, dan 20% berturut-turut semakin meningkat sebesar 1,64%, 1,44%, 2,14%, 2,21%, namun pada penambahan 10% sempat mengalami penurunan tetapi tidak signifikan. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Sungsanit (2012). Begitu juga Handayani (2010) menyebutkan bahwa *plasticizer*

akan memberikan efek lebih mudah diulur dan ditarik sehingga menyebabkan film lebih panjang dan akan mempunyai nilai persentase perpanjangan yang lebih besar. Grafik penurunan nilai *tensile strength* dan kenaikan *elongation at break* ditunjukkan pada Gambar IV.18.

Hasil uji *Modulus Young* menunjukkan bahwa dapat dilihat nilai *modulus young* cenderung turun seiring kenaikan konsentrasi *plasticizer* PEG400. Dapat dilihat pada grafik bahwa pembuatan film tanpa penambahan PEG400 memiliki nilai *modulus young* 1432 MPa, ketika ditambahkan PEG400 pada konsentrasi 5%,10%,15%, dan 20% memiliki nilai *modulus young* secara berturut-turut semakin menurun yaitu 949,10 Mpa, 980,20 Mpa, 486,80 Mpa dan 395,90 Mpa. Grafik ditunjukkan pada Gambar IV.19.



Gambar IV.18 *Tensile Strength & Elongation At Break Film PLLA/PEG400 Variabel 100/0 ; 95/5 ; 90/10 ; 85/15 ; 80/20*



Gambar IV.19 *Modulus Young Film PLLA/PEG400 Variabel 100/0 ; 95/5 ; 90/10 ; 85/15 ; 80/20*

Tabel IV.7 *Properti Mekanik Film PLLA/PEG400*

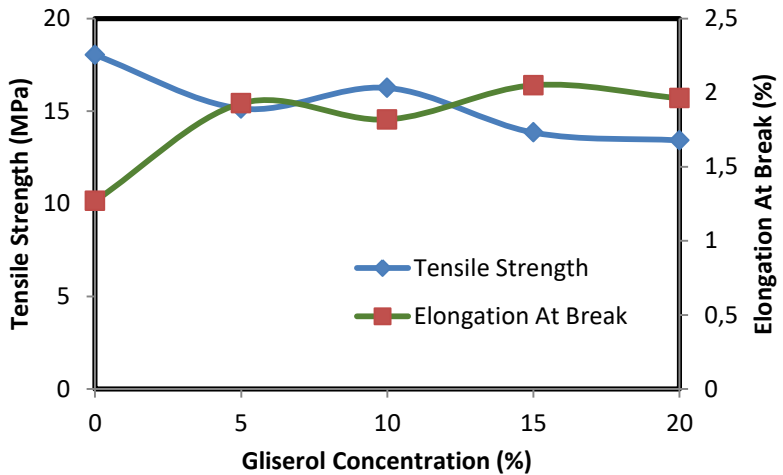
Komposisi PLLA/PEG 400	<i>Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Modulus Young</i> (MPa)	<i>Elongation At Break</i> (%)
100/0	18,04	1432	1,27
95/5	13,58	949,10	1,64
90/10	13,13	980,20	1,44
85/15	13,43	486,80	2,14
80/20	12,27	395,90	2,21

Hasil uji kuat tarik (*tensile strength*) menunjukkan peningkatan konsentrasi gliserol akan menurunkan nilai kuat tarik film yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kisaran nilai kuat tarik tanpa adanya gliserol memiliki nilai kuat tarik 18,04 MPa dan ketika ditambahkan gliserol pada konsentrasi 5%;10%;15%;20% masing-masing mengalami penurunan yaitu 15,14 MPa; 16,26 MPa; 13,85 MPa; 13,43 MPa. Secara umum penurunan nilai *tensile strength* pada pencampuran PLLA dan

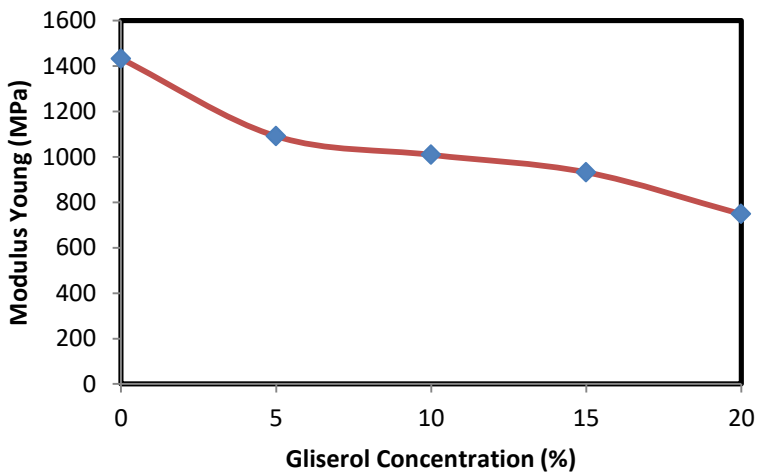
Gliserol sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Frydrych (2015).

Hasil uji persen perpanjangan (*elongation at break*) menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi gliserol akan menaikkan nilai persen perpanjangan film PLLA/Gliserol yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian, nilai persen perpanjangan yaitu pada PLLA murni tanpa adanya penambahan gliserol yaitu sebesar 1,27% sedangkan pada penambahan konsentrasi 5%, 10%, 15% berturut-turut semakin meningkat sebesar 1,93%, 1,82%, 2,05% namun pada penambahan 20% sempat mengalami penurunan tetapi tidak signifikan yaitu sebesar 1,96%. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Sungsanit (2012). Bagaimanapun juga Handayani (2010) menyebutkan bahwa *plasticizer* akan memberikan efek lebih mudah diulur dan ditarik sehingga menyebabkan film lebih panjang dan akan mempunyai nilai persentase perpanjangan yang lebih besar. Grafik ditunjukkan pada Gambar IV.20.

Hasil uji *Modulus Young* menunjukkan bahwa nilai *modulus young* cenderung turun seiring kenaikan konsentrasi *plasticizer* gliserol. Dapat dilihat pada grafik bahwa pembuatan film tanpa penambahan gliserol memiliki nilai *modulus young* 1432 MPa, ketika ditambahkan Gliserol pada konsentrasi 5%, 10%, 15% dan 20% memiliki nilai *modulus young* secara berturut-turut semakin menurun yaitu 1091 Mpa, 1009 Mpa, 932,1 Mpa dan 747,8 Mpa. Grafik ditunjukkan pada Gambar IV.21.



Gambar IV.20 *Tensile Strength & Elongation At Break Film PLLA/Gliserol*
Variabel 100/0 ; 95/5 ; 90/10 ; 85/15 ; 80/20

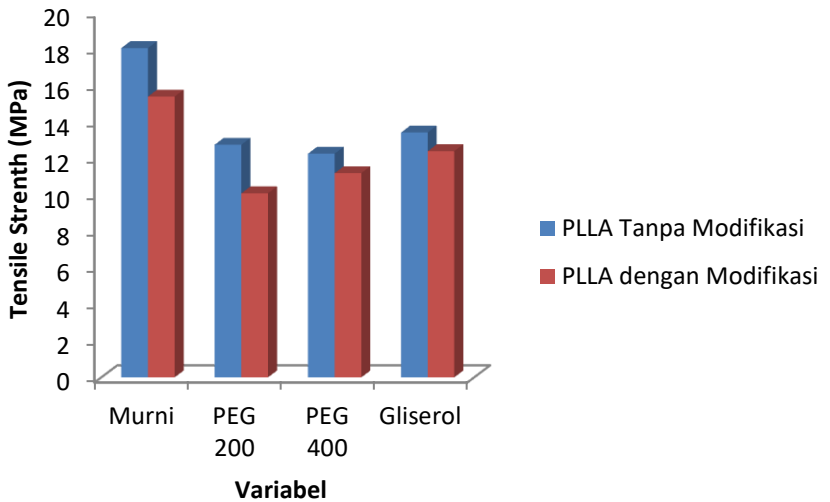


Gambar IV.21 *Modulus Young Film PLLA/Gliserol* Variabel 100/0 ; 95/5 ; 90/10 ; 85/15 ; 80/20

Tabel IV.8 Properti Mekanik *Film* PLLA/Gliserol

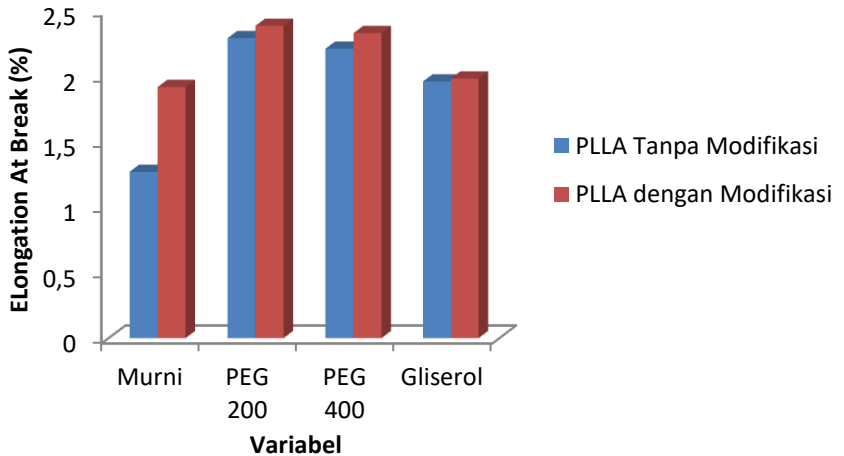
Komposisi PLLA/Gliserol	<i>Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Modulus Young</i> (MPa)	<i>Elongation At Break</i> (%)
100/0	18,04	1432	1,27
95/5	15,14	1091	1,93
90/10	16,26	1009	1,82
85/15	13,85	932,1	2,05
80/20	13,43	747,8	1,96

Gambar IV.22 menunjukkan hasil uji kuat tarik (*tensile strength*) PLLA/*Plasticizer* dengan dan tanpa modifikasi PLLA murni dan dengan penambahan PEG200, PEG400, Gliserol berturut - turut memiliki nilai 18,04 MPa; 12,75 MPa; 12,27 MPa; 13,43 MPa. Sedangkan jika pembuatan *film* dengan adanya modifikasi PLLA penambahan *plasticizer* memiliki nilai 15,39Mpa, 10,10MPa, 11,20Mpa, dan 12,40MPa. Menurut Wang dkk (2012) nilai *tensile strength* PLLA yang telah dimodifikasi mengalami penurunan saat ditambahkan *plasticizer*, hal ini dapat terjadi karena *plasticizer* terdispersi lebih baik ke dalam matriks PLLA yang telah dimodifikasi. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai *tensile strength* PLLA yang telah dimodifikasi mengalami penurunan daripada PLLA yang tidak dimodifikasi.



Gambar IV.22 *Tensile Strength* Pembuatan Film PLLA/*Plasticizer* dengan Modifikasi dan Tanpa Modifikasi untuk PLLA Murni dan PLLA/*Plasticizer* (80/20)

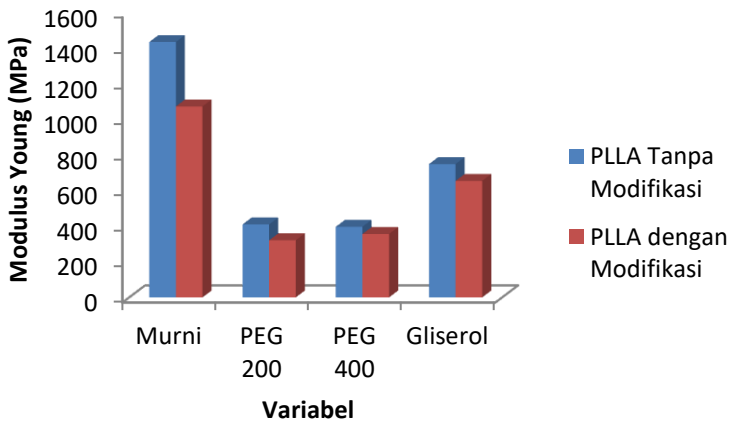
Gambar IV.23 menunjukkan hasil uji *Elongation At Break* PLLA/*Plasticizer* dengan dan tanpa modifikasi PLLA murni dan dengan penambahan PEG200, PEG400, Gliserol berturut - turut memiliki nilai 1,27%; 2,29%; 2,21%; 1,96%. Sedangkan jika pembuatan film dengan adanya modifikasi PLLA dengan penambahan *plasticizer* memiliki nilai 1,92%; 2,39%; 2,33%; 1,98%. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai *elongation at break* PLLA yang telah dimodifikasi mengalami kenaikan dibandingkan dengan nilai *elongation at break* PLLA yang tidak dimodifikasi. Hal ini dapat terjadi karena saat modifikasi PLLA dengan MA meningkatkan kompatibilitas PLLA sehingga interaksi PLLA dengan *plasticizer* semakin besar.



Gambar IV.23 *Elongation At Break* Pembuatan Film PLLA/*Plasticizer* dengan Modifikasi dan Tanpa Modifikasi untuk PLLA Murni dan PLLA/*Plasticizer* (80/20)

Gambar IV.24 menunjukkan nilai *modulus young* dapat diperoleh dari slope titik awal hingga titik akhir yang membentuk garis lurus sebelum titik maksimum dari kurva stress-strain. Hasil uji *modulus young* PLLA/*Plasticizer* dengan dan tanpa modifikasi PLLA murni dan dengan penambahan PEG200, PEG400, Gliserol berturut – turut memiliki nilai 1432 MPa; 409,2 MPa; 395,9 MPa; 747,8 MPa. Sedangkan jika pembuatan film dengan adanya modifikasi PLLA dengan penambahan *plasticizer* memiliki nilai 1071 Mpa, 320,50 MPa, 355,40Mpa, dan 653,20 Mpa. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai *modulus young* pada PLLA yang telah dimodifikasi mengalami penurunan daripada PLLA yang tidak dimodifikasi. Pada PLLA yang telah dimodifikasi dengan penambahan *plasticizer* terlihat *plasticizer* terdispersi lebih baik

pada PLLA yang dimodifikasi dibandingkan dengan tanpa modifikasi, hal ini dapat terjadi karena saat modifikasi PLLA dengan MA meningkatkan kompatibilitas PLLA sehingga interaksi PLLA dengan *plasticizer* semakin besar.



Gambar IV.24 *Modulus Young* Pembuatan Film PLLA/*Plasticizer* dengan Modifikasi dan Tanpa Modifikasi untuk PLLA Murni dan PLLA/*Plasticizer* (80/20)

Tabel IV.9 Properti Mekanik *Film PLLA/Plasticizer*

No	Variabel <i>Plasticizer</i>	PLLA / <i>Plasticizer</i>			PLLA-g-MA		
		<i>Tensile Strength (MPa)</i>	<i>Modulus Young (MPa)</i>	<i>Elongation At Break (%)</i>	<i>Tensile Strength (MPa)</i>	<i>Modulus Young (MPa)</i>	<i>Elongation At Break (%)</i>
1	Murni	18,04	1432	1,27	15,39	1071	1,92
2	PEG200	12,75	409,2	2,29	10,10	320,50	2,39
3	PEG400	12,27	395,9	2,21	11,20	355,40	2,33
4	Gliserol	13,43	747,8	1,96	12,40	653,20	1,98

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil analisa FTIR dapat disimpulkan bahwa terjadi interaksi antara PLLA dan *Plasticizer*. Pergeseran peak paling besar adalah pada campuran PLLA/PEG200 (80/20). Modifikasi PLLA dengan MA meningkatkan interaksi antara PLLA dan *Plasticizer*. Film PLLA-g-MA/PEG200 menunjukkan pergeseran peak paling besar.
2. Berdasarkan hasil analisa DSC, penambahan *Plasticizer* menurunkan nilai Tg dan Tm dari PLLA murni. Penurunan nilai Tg dan Tm pada campuran PLLA/*Plasticizer* ini dipengaruhi oleh nilai Tg dan Tm dari *Plasticizer*. *Plasticizer* yang paling berpengaruh terhadap nilai Tg dan Tm PLLA adalah PEG200 hal ini dapat terjadi karena PEG200 lebih dapat terdispersi dalam matriks PLLA. Nilai Tg PLLA murni 43,22°C setelah ditambahkan PEG200 (80/20) Tg menjadi 40,54°C. Nilai Tg PLLA-g-MA murni 43,41°C setelah ditambahkan PEG200 (80/20) Tg menjadi 39,1°C.
3. Berdasarkan hasil analisa XRD, penambahan *Plasticizer* mempengaruhi derajat kristalinitas. Semakin banyak jumlah *plasticizer* yang ditambahkan maka derajat kristalinitas film semakin naik. Dari analisa XRD dapat disimpulkan bahwa penambahan PEG200 (80/20) memiliki derajat kristalinitas tertinggi yaitu 42,544%. Hasil XRD film PLLA-g-MA/*Plasticizer* didapatkan nilai derajat kristalinitas tertinggi pada campuran PLLA-g-MA/PEG200 sebesar 45,66%. Penambahan *plasticizer* dapat meningkatkan polymer chain mobility sehingga memudahkan membentuk ordered structure.
4. Berdasarkan hasil analisa SEM, distribusi *plasticizer* dalam PLLA semakin terlihat dengan meningkatnya jumlah *plasticizer* yang ditambahkan. Pada penambahan gliserol hasil yang ditunjukkan tidak terlalu bagus dibandingkan

PEG. Sedangkan dispersi PEG yang lebih baik adalah PEG200 hal ini karena efisiensi *plasticizing* meningkat dengan menurunnya berat molekul PEG. Dari analisa SEM dapat disimpulkan bahwa *Plasticizer* PEG200 lebih kompatibel terhadap matriks PLLA. Hasil analisa SEM PLLA-g-MA/*Plasticizer* terlihat *Plasticizer* terdispersi lebih besar dan lebih baik dibandingkan film PLLA/*Plasticizer*, karena saat modifikasi PLLA dengan MA meningkatkan kompatibilitas PLLA sehingga interaksi PLLA dengan *Plasticizer* semakin besar. Morfologi film menunjukkan adanya pori, struktur berpori ini cocok untuk digunakan sebagai *scaffold* dalam *tissue engineering*.

5. Berdasarkan hasil analisa DMA, penambahan plasticizer mempengaruhi properti mekanik campuran PLLA/*Plasticizer*. Semakin banyak penambahan *plasticizer*, *tensile strength* dan *modulus young* semakin rendah tetapi nilai *elongation at break* mengalami kenaikan. Kenaikan *elongation at break* menunjukkan film PLLA lebih elastis, sehingga dapat digunakan untuk implan. Nilai optimum pada film PLLA/*Plasticizer* dengan *elongation at break* tertinggi adalah film PLLA/PEG200 nilai 2,29%. Pada PLLA yang telah dimodifikasi dengan MA memberikan hasil bahwa PEG200 memberikan nilai *elongation at break* yang lebih tinggi daripada *Plasticizer* yang lain dan jika dibandingkan PLLA tanpa modifikasi. Nilai optimum diperoleh pada PLLA-g-MA/PEG200 dengan *elongation at break* 2,39%.
6. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa plasticizer PEG200 memberikan hasil atau properti paling baik pada film dengan atau tanpa modifikasi PLLA.
7. PEG dengan BM lebih rendah (PEG200) terdispersi lebih baik kedalam matriks PLLA sehingga memberikan hasil properti paling baik dibandingkan dengan PEG dengan BM yang lebih tinggi.

8. Modifikasi PLLA dengan MA dapat meningkatkan kompatibilitas dari PLLA dengan plasticizer, sehingga plasticizer terdispersi lebih baik kedalam matriks PLLA.

V. 2 Saran

1. Pada analisa DSC sebaiknya dilakukan pemanasan dari suhu dibawah Tg plasticizer.
2. Dilakukan pengujian lebih lanjut untuk aplikasi biomedik seperti uji kompatibilitas.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Auras, R. 2002. "Poly(Lactic Acid) Film as Food Packaging Materials". Environmental Conference. USA. 12 Juli 2002.
- Bijarimi M, S. Ahmad, R. Rasid, M. A. Khushairi and M. Zakir. 2015. "Poly(lactic acid) / Poly(ethylene glycol) Blends: Mechanical, Thermal And Morphological Properties". Universiti Malaysia Pahang, Kuantan, Malaysia
- Bromberg, L. and Hatton T.A., "Interactions of Polyether-Modified Poly (Acrylic Acid) Microgels with Anticancer Drugs". Thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- Christina M.P., Yohan, dan Kundari N.A., 2008, "Studi Pendahuluan Preparasi Membran untuk Sel Bahan Bakar Membran Elektrolit Polimer". Jurnal FN., 2(2) :1978-8738
- Endang Warsiki dan Obie Farobie. 2007. "Review Pembuatan Asam Polilaktat (PLA) dari Gliserol Sebagai Hasil Samping Industri Biodiesel". *Konferensi Nasional*. Jakarta.
- Garlotta, D. 2011. "A Literature Review of Poly(Lactic Acid)". Journal of Polymers and the Environment, vol. 9, no. 2, pp. 63 – 84.
- Hendri, J., Ginting I., dan Laila A., 2008, "Studi Pengikatan Kitosan pada Polietilen Tergrafting Asam Akrilat yang Diperoleh dengan Radiasi Gamma". Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II-2008, Universitas Lampung, Lampung, 17-18 November 2008
- Katrin Knop, Richard Hoogenboom, Dagmar Fischer, and Ulrich S. Schubert. 2010. "Poly(ethyleneglycol) in Drug Delivery : Pros and Cons as Well as Potential Alternatives". Friedrich-Schiller-University Jena.
- Lanthong, P., Nuisin, R., and Kiatkam jornwong, S., 2006, "Graft Copolymerization, Characterization, and Degradation of Cassava Starch-g-acrylamide/itaconic Acid

- Superabsorbents". *Journal of Carbohydrate Polymers*, 66 (2006):229-245
- Lin Xiao, Bo Wang, Guang Yang, Mario Gauthier. 1995. "Poly (Lactic Acid) – Based Biomaterials : Synthesis, Modification and Applications". *www.intechopen.com*
- Martin Frydrych, Sabiniano Roman, Sheila MacNeil, Biqiong Chen. 2015. "Biomimetic Poly (Glycerol Sebacate) / Poly (L-Lactic Acid) Blend Scaffolds For Adipose Tissue Engineering". *Article In Press Science Direct*.
- Muhammad Ghozali, Pius Doni Bonafius Sinaga, Shela Maranatha Yolanda. 2016. "Pengaruh Konsentrasi Anhidrida Maleat Dan Peroksida Benzoil Terhadap Persen Pencangkakan Pada Sintesis Kompatibilizer *Polyethylene-Graft maleic Anhydride*". Pusat Penelitian Kimia LIPI. Banten.
- Raffi, Paramawati. 2007. "Evaluasi Ciri Mekanis dan Fisis Bioplastik dari Campuran Poli (Asam Laktat) dengan Polisakarida". *Jurnal Ilmu Pertanian*, 75-83.
- Saini, P., Arora M., Ravi Kumar M.N.V. 2016. "Poly(lactic acid) blends in biomedical aplications" Departement of Pharmaceutical Science. Texas A&M Health Science Centre.
- Song Y.W., Do H.S., Joo H.S., Lim D.H., Kim S., and Kim H.J., 2006, "Effect of Grafting of Acrylic Acid onto a PET Film Surfaces by UV Irradiation on The Adhesion of PSAs, J". *Adhesion Sci. Technol.*, 20(12) : 1357-1365
- K. Sungsanit, N. Kao, S. N. Bhattacharya. 2011."Properties of linear poly(lactic acid)/polyethylene glycol blends". *Environmental and Chemical Engineering*, RMIT University, Australia.
- Rajendra P. Pawara, Sunil U. Tekalea, Suresh U. Shisodiaa, Jalinder T. Totrea and Abraham J. Dombb. 2014 . "Biomedical Applications of Poly(Lactic Acid)". Department of Chemistry, Deogiri College, Station Road, Aurangabad Maharashtra 431 005, India.

- Tarigan, Chrissemi. 2011. "Analisis Thermal". *www.scribd.com*. 26 Mei 2011.
- V. Weber, I. Linsberger, M. Ettenauer, F. Loth, M. Hoyhtya, D. Falkenhagen.(2005). "Biomacromolecules".6, 1864.
- Wang Hui-Min, Yi-Ting Chou, Chin-San Wu, Jen-Taut Yeh. 2012. "Polyester/Cellulose Acetate Composites: Preparation, Characterization and Biocompatible". Departement of Fragrance and Cosmetic Science, Koahsiung Medical University, Koahsiung, Taiwan.
- Yuqing Wan, Wenna Chen, Jiang Yang, JianzhongBei, Shenguo Wang. 2002. "Biodegradable Poly (L- Lactide) – Poly (Ethylene Glycol) Multiblock Copolymer : Synthesis and Evaluation Of Cell Affinity ". *Article In Press Science Direct*.
- Zhang, Y., 2009, Preparation of Copolymers of Acrylic Acid and Acrylamide for Copper (II) Capture from Aqueous Solutions, Thesis, Univeristy of Waterloo, Ontario, Canada

DAFTAR NOTASI

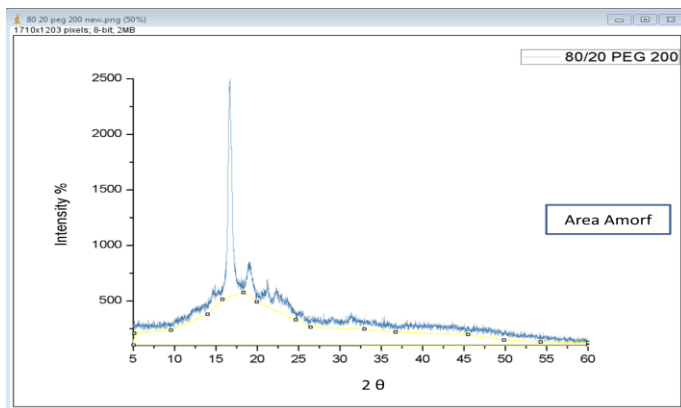
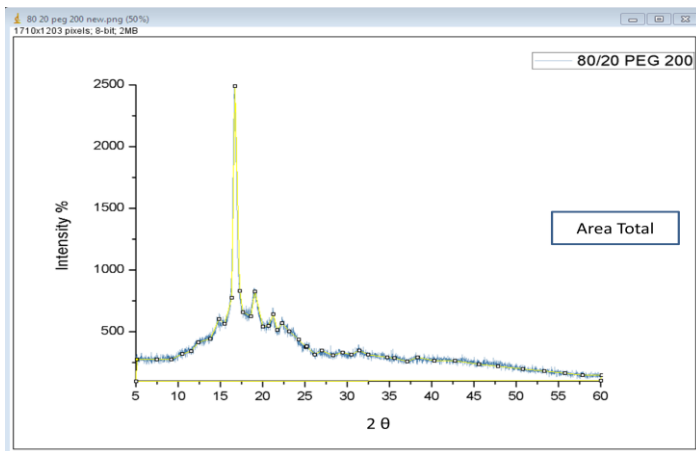
No.	Notasi	Keterangan	Satuan
1.	m	Massa	Gram
2.	T	Suhu	°C
3.	BM	Berat Molekul	Gram/mol
4.	V	Volume	ml
5.	ρ	Densitas	Gram/ml
6.	T _g	<i>Glass Transition Temperature</i>	°C
7.	T _m	<i>Melting Temperature</i>	°C
8.	λ	Panjang Gelombang	cm ⁻¹

APPENDIKS B

PERHITUNGAN DAN HASIL ANALISA XRD

Analisa XRD

Contoh : Penentuan derajat kristalinitas PLLA/Plasticizer (PEG 200) dengan menggunakan *software image J*.



$$\% \text{ Derajat Kristalinitas} = \frac{(Luas \text{ Area Total} - Luas \text{ Area Amor})}{Luas \text{ Area Total}} \times 100\%$$

$$= \frac{37.749,33 - 65.701}{37.749,33} \times 100\%$$

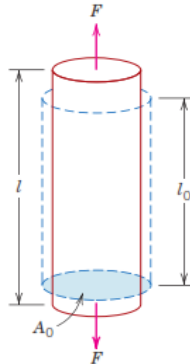
$$= 42,544 \%$$

APPENDIKS C

UJI ANALISA MEKANIK

1. Hasil Analisa Mekanik Menggunakan *Differential Mechanical Analyze* (DMA)

Panjang Awal Sampel (L_0) = 2 cm = 0,02 m
 Lebar Awal Sampel = 5 mm = 0,005 m
 Thickness Sampel = 0.09 mm = 0,00009 m
 Luas Awal Sampel (A_0) = Lebar x Thickness
 = 0,005 m x 0,00009 m
 = 0,00000045 m²



Gambar 1. Skema Penampang Sampel

Tabel 1. Hasil Analisa DMA dengan % berat
 PLLA/*Plasticizer* 100/0

Index	F (N)	x (μm)	x (m)
0	0.9960	0.1356	0.0000001356
1	2.1468	22.9855	0.0000229855
2	3.7164	69.8392	0.0000698392
3	4.6320	116.7607	0.0001167607
4	8.1167	212.3137	0.0002123137
5	2.4693	253.6294	0.0002536294

Tabel 2. Hasil Analisa DMA dengan % berat
PLLA/PEG200 95/5

Index	F (N)	x (μm)	x (m)
0	0.9960	15.2170	0.0000152170
1	2.1468	48.1196	0.0000481196
2	3.7164	103.1996	0.0001031996
3	4.6320	222.6406	0.0002226406
4	8.1167	235.5217	0.0002355217

Tabel 3. Hasil Analisa DMA dengan % berat
PLLA/PEG200 90/10

Index	F (N)	x (μm)	x (m)
0	1.000	10.7090	0.000010709
1	2.006	32.9567	0.000032957
2	2.994	67.9894	0.000067989
3	3.987	116.8274	0.000116827
4	4.010	143.4452	0.000143445
5	5.975	228.8235	0.000228824
6	6.942	325.1911	0.000325191
7	1.674	352.9333	0.000352933

Tabel 4. Hasil Analisa DMA dengan % berat
PLLA/PEG200 85/15

Index	F (N)	x (μm)	x (m)
0	0.996	8.1640	0.000008164
1	1.984	30.2394	0.000030239
2	2.959	68.5525	0.000068553
3	3.951	126.3019	0.000126302
4	4.912	207.2502	0.000207250
5	5.720	362.8142	0.000362814
6	0.707	374.9993	0.000374999

Tabel 5. Hasil Analisa DMA dengan % berat
PLLA/PEG200 80/20

Index	F (N)	x (μm)	x (m)
0	1.0371	20.2690	0.0000202690
1	1.3519	45.2955	0.0000452955
2	2.0351	89.6832	0.0000896832
3	2.7013	140.2807	0.0001402807
4	3.7219	193.9238	0.0001939238
5	5.7366	247.4889	0.0002474889
6	1.7548	297.9367	0.0002979367
7	0.2773	458.2061	0.0004582061

Tabel 6. Hasil Analisa DMA dengan % berat
PLLA/PEG400 95/5

Index	F (N)	x (μm)	x (m)
0	0.9978	0.1356	0.0000001356
1	2.0099	24.8934	0.0000248934
2	3.8378	72.1332	0.0000721332
3	3.6002	120.3238	0.0001203238
4	6.1099	222.1158	0.0002221158
5	3.2142	280.9577	0.0002809577
6	1.9369	310.8456	0.0003108456
7	1.2921	328.1519	0.0003281519

Tabel 7. Hasil Analisa DMA dengan % berat
PLLA/PEG400 90/10

Index	F (N)	x (μm)	x (m)
0	0.9937	0.1356	0.0000001356
1	2.1269	22.2540	0.0000222540
2	3.4613	57.5520	0.0000575520
3	4.4696	103.2016	0.0001032016
4	5.9094	211.6906	0.0002116906
5	2.0158	241.8210	0.0002418210

6	2.0790	271.5021	0.0002715021
7	1.2546	287.3128	0.0002873128

Tabel 8. Hasil Analisa DMA dengan % berat
PLLA/PEG400 85/15

Index	F (N)	x (μm)	x (m)
0	1.0184	0.1356	0.0000001356
1	2.1043	22.2693	0.0000222693
2	3.8094	62.6962	0.0000626962
3	3.6096	102.5485	0.0001025485
4	4.2523	167.0507	0.0001670507
5	5.5463	258.3435	0.0002583435
6	6.0433	414.8175	0.0004148175
7	0.7959	427.1293	0.0004271293

Tabel 9. Hasil Analisa DMA dengan % berat
PLLA/PEG400 80/20

Index	F (N)	x (μm)	x (m)
0	0.9972	0.1356	0.0000001356
1	2.0571	16.6944	0.0000166944
2	3.7616	48.2176	0.0000482176
3	3.7073	79.9191	0.0000799191
4	4.3090	128.9416	0.0001289416
5	5.0483	190.1746	0.0001901746
6	5.1181	273.5734	0.0002735734
7	5.5234	430.5794	0.0004305794
8	0.8536	442.1176	0.0004421176

Tabel 10. Hasil Analisa DMA dengan % berat
PLLA/Gliserol 95/5

Index	F (N)	x (μm)	x (m)
0	0.1386	1.6494	0.0000016494

1	0.6322	9.4280	0.0000094280
2	1.6216	50.8949	0.0000508949
3	3.3680	99.1129	0.0000991129
4	4.6847	168.2538	0.0001682538
5	6.8153	293.3178	0.0002933178
6	1.0046	385.6781	0.0003856781

Tabel 11. Hasil Analisa DMA dengan % berat PLLA/Gliserol 90/10

Index	F (N)	x (μm)	x (m)
0	0.1355	10.4619	0.00001046190
1	0.4911	23.1064	0.00002310640
2	1.3544	112.2053	0.00011220530
3	3.3293	176.4761	0.00017647610
4	3.9229	218.6108	0.00021861080
5	4.6172	252.5235	0.00025252350
6	7.3172	276.4078	0.00027640780
7	1.3203	330.3235	0.00033032350
8	0.3258	363.9280	0.00036392800

Tabel 12. Hasil Analisa DMA dengan % berat PLLA/Gliserol 85/15

Index	F (N)	x (μm)	x (m)
0	0.140	1.4250	0.000001425
1	0.636	8.0584	0.000008058
2	1.627	25.7110	0.000025711
3	3.390	64.1204	0.000064120
4	4.137	90.4117	0.000090412
5	5.910	180.0454	0.000180045
6	6.232	316.4174	0.000316417
7	5.233	410.1370	0.000410137

Tabel 13. Hasil Analisa DMA dengan % berat PLLA/Gliserol 80/20

Index	F (N)	x (μm)	x (m)
0	0.141	1.2380	0.0000012380
1	0.639	6.8997	0.0000068997
2	1.632	21.6193	0.0000216193
3	3.998	58.8319	0.0000588319
4	5.005	106.8776	0.0001068776
5	5.298	166.8024	0.0001668024
6	5.884	241.8780	0.0002418780
7	6.042	341.8900	0.0003418900
8	2.884	392.5320	0.0003925320

Tabel 14. Hasil Analisa DMA PLLA-g-MA

Index	F (N)	x (μm)	x (m)
0	1.00	42.0137	0.0000420137
1	2.09	75.6104	0.0000756104
2	3.81	99.6973	0.0000996973
3	4.54	184.7812	0.0001847812
4	4.72	278.8469	0.0002788469
5	1.00	383.4095	0.0003834095

Tabel 15. Hasil Analisa DMA PLLA-g-MA/PEG200

Index	F (N)	x (μm)	x (m)
0	0.851699	53.4950	0.0000534950
1	1.764020	133.8121	0.0001338121
2	4.659530	210.9359	0.0002109359
3	4.945660	305.3589	0.0003053589
4	0.507606	428.1045	0.0004281045

Tabel 16. Hasil Analisa DMA PLLA-g-MA/PEG400

Index	F (N)	x (μm)	x (m)
0	0.8660	40.7264	0.0000407264
1	2.7882	74.7868	0.0000747868
2	2.9816	140.1089	0.0001401089
3	5.3411	232.2689	0.0002322689
4	1.2882	355.6869	0.0003556869

Tabel 13. Hasil Analisa DMA PLLA-g-MA/Gliserol

Index	F (N)	x (μm)	x (m)
0	1.1277	3.3649	0.0000033649
1	2.6052	21.8252	0.0000218252
2	4.7695	51.0422	0.0000510422
3	6.5820	114.0422	0.0001140422
4	1.6917	201.0422	0.0002010422

2. Hasil Perhitungan *Stress-Strain* Analisa Mekanik Menggunakan *Differential Mechanical Analyze* (DMA)

Tabel 14. Perhitungan *Stress – Strain* dengan % Berat PLLA/*Plasticizer* 100/0

Index	<i>Stress</i> (σ) (N/m^2)	<i>Stress</i> (σ) (MPa)	<i>Strain</i> (ϵ) (m/m)
0	2213340	2.21334	0.00000678
1	4770555.556	4.770555556	0.00114928
2	8258711.111	8.258711111	0.00349196
3	10293288.89	10.29328889	0.00583804
4	18037111.11	18.03711111	0.01061569

Tabel 15. Perhitungan *Stress – Strain* dengan % Berat
PLLA/PEG200 95/5

Index	<i>Stress</i> (σ) (N/m ²)	<i>Stress</i> (σ) (MPa)	<i>Strain</i> (ϵ) (m/m)
0	1860546.667	1.860546667	0.00076085
1	3863422.222	3.863422222	0.00240598
2	8821355.556	8.821355556	0.00515998
3	17272111.11	17.27211111	0.01113203

Tabel 16. Perhitungan *Stress – Strain* dengan % Berat
PLLA/PEG200 90/10

Index	<i>Stress</i> (σ) (N/m ²)	<i>Stress</i> (σ) (MPa)	<i>Strain</i> (ϵ) (m/m)
0	2222800	2.2228	0.00053545
1	4457911.111	4.457911111	0.00164784
2	6652333.333	6.652333333	0.00339947
3	8859933.333	8.859933333	0.00584137
4	8910111.111	8.910111111	0.00717226
5	13276866.67	13.27686667	0.01144118
6	15426422.22	15.42642222	0.01625956

Tabel 17. Perhitungan *Stress – Strain* dengan % Berat
PLLA/ PEG200 85/15

Index	<i>Stress</i> (σ) (N/m ²)	<i>Stress</i> (σ) (MPa)	<i>Strain</i> (ϵ) (m/m)
0	2213695.556	2.213695556	0.0004082
1	4408733.333	4.408733333	0.00151197
2	6576311.111	6.576311111	0.00342763
3	8780066.667	8.780066667	0.0063151
4	10915044.44	10.91504444	0.01036251
5	12710133.33	12.71013333	0.01814071

Tabel 18. Perhitungan *Stress – Strain* dengan % Berat
PLLA/ PEG200 80/20

Index	<i>Stress</i> (σ) (N/m ²)	<i>Stress</i> (σ) (MPa)	<i>Strain</i> (ϵ) (m/m)
0	2304644.444	2.304644	0.00101345
1	3004266.667	3.004267	0.00226478
2	4522355.556	4.522356	0.00448416
3	6002866.667	6.002867	0.00701404
4	8270822.222	8.270822	0.00969619
5	12748000	12.748	0.01237445

Tabel 19. Perhitungan *Stress – Strain* dengan % Berat
PLLA/ PEG400 95/5

Index	<i>Stress</i> (σ) (N/m ²)	<i>Stress</i> (σ) (MPa)	<i>Strain</i> (ϵ) (m/m)
0	2217368.889	2.217368889	0.00000678
1	4466533.333	4.466533333	0.00124467
2	8528355.556	8.528355556	0.00360666
3	8000400	8.0004	0.00601619
4	13577511.11	13.57751111	0.01110579

Tabel 20. Perhitungan *Stress – Strain* dengan % Berat
PLLA/ PEG400 90/10

Index	<i>Stress</i> (σ) (N/m ²)	<i>Stress</i> (σ) (MPa)	<i>Strain</i> (ϵ) (m/m)
0	2208191.111	2.208191111	0.00000678
1	4726333.333	4.726333333	0.0011127
2	7691688.889	7.691688889	0.0028776
3	9932333.333	9.932333333	0.00516008
4	13131955.56	13.13195556	0.01058453

Tabel 21. Perhitungan *Stress – Strain* dengan % Berat PLLA/ PEG400 85/15

Index	<i>Stress</i> (σ) (N/m ²)	<i>Stress</i> (σ) (MPa)	<i>Strain</i> (ϵ) (m/m)
0	2263044.444	2.263044444	0.00000678
1	4676200	4.6762	0.001113465
2	8465333.333	8.465333333	0.00313481
3	8021244.444	8.021244444	0.005127425
4	9449444.444	9.449444444	0.008352535
5	12325088.89	12.32508889	0.012917175
6	13429555.56	13.42955556	0.020740875

Tabel 22. Perhitungan *Stress – Strain* dengan % Berat PLLA/ PEG400 80/20

Index	<i>Stress</i> (σ) (N/m ²)	<i>Stress</i> (σ) (MPa)	<i>Strain</i> (ϵ) (m/m)
0	2215946.667	2.215946667	0.00000678
1	4571244.444	4.571244444	0.00083472
2	8359177.778	8.359177778	0.00241088
3	8238488.889	8.238488889	0.003995955
4	9575622.222	9.575622222	0.00644708
5	11218488.89	11.21848889	0.00950873
6	11373488.89	11.37348889	0.01367867
7	12274222.22	12.27422222	0.02152897

Tabel 23. Perhitungan *Stress – Strain* PLLA-g-MA

Index	<i>Stress</i> (σ) (N/m ²)	<i>Stress</i> (σ) (MPa)	<i>Strain</i> (ϵ) (m/m)
0	2226022.222	2.226022222	0.00210069
1	4652000	4.652	0.00378052
2	8462533.333	8.462533333	0.00498487
3	10091577.78	10.09157778	0.00923906
4	15386977.78	15.38697778	0.01394235

Tabel 24. Perhitungan *Stress – Strain*
PLLA-g-MA/PEG200

Index	<i>Stress</i> (σ) (N/m ²)	<i>Stress</i> (σ) (MPa)	<i>Strain</i> (ϵ) (m/m)
0	1892664.444	1.892664444	0.00267475
1	3920044.444	3.920044444	0.00721061
2	9465622.222	9.465622222	0.0116668
3	10101466.67	10.10146667	0.01721295

Tabel 25. Perhitungan *Stress – Strain*
PLLA-g-MA/PEG400

Index	<i>Stress</i> (σ) (N/m ²)	<i>Stress</i> (σ) (MPa)	<i>Strain</i> (ϵ) (m/m)
0	1924402.222	1.924402222	0.00403632
1	6196022.222	6.196022222	0.00773934
2	6625711.111	6.625711111	0.01100545
3	11202422.22	11.20242222	0.01661345

Tabel 26. Perhitungan *Stress – Strain*
PLLA-g-MA/Gliserol

Index	<i>Stress</i> (σ) (N/m ²)	<i>Stress</i> (σ) (MPa)	<i>Strain</i> (ϵ) (m/m)
0	2506055.556	2.506055556	0.00266825
1	5789326.667	5.789326667	0.00659126
2	10598995.56	10.59899556	0.01062711
3	12404355.56	12.40435556	0.01482532

- Contoh perhitungan nilai *stress* dan *strain* berdasarkan hasil analisa *Differential Mechanical Analyze* (DMA) :
 - Perhitungan nilai *stress* dan *strain* untuk hasil analisa DMA perbandingan PLLA/PEG400 100/0:
 - Untuk menghitung nilai *stress*, dapat menggunakan rumus:

$$\text{Stress (} \sigma \text{)} = \frac{F}{A_o}$$

Dimana :

F = Gaya yang diberikan (N)

A_o = Luas awal sampel (m²)

Jika data yang diketahui pada index 0, F = 0,9960 N
maka, nilai Stress :

$$\text{Stress (} \sigma \text{)} = \frac{0,996 \text{ N}}{0,00000045 \text{ m}^2}$$

$$\text{Stress (} \sigma \text{)} = 2213340 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Stress (} \sigma \text{)} = 2213340 \text{ N/m}^2 \times 10^{-6}$$

$$\text{Stress (} \sigma \text{)} = 2.213 \text{ MPa}$$

- Untuk menghitung nilai *strain*, dapat menggunakan rumus:

$$\text{Strain (} \varepsilon \text{)} = \frac{\Delta L}{L_o}$$

Dimana :

ΔL = Perubahan panjang (m)

L_o = Panjang awal sampel (m)

Jika data yang diketahui pada index 0, ΔL = x = 0,0000001356 m, maka :

$$\text{Strain (} \varepsilon \text{)} = \frac{\Delta L}{L_o}$$

$$\text{Strain (} \varepsilon \text{)} = \frac{0,0000001356 \text{ m}}{0,02 \text{ m}}$$

Strain (ϵ) = 0,00000678 m/m

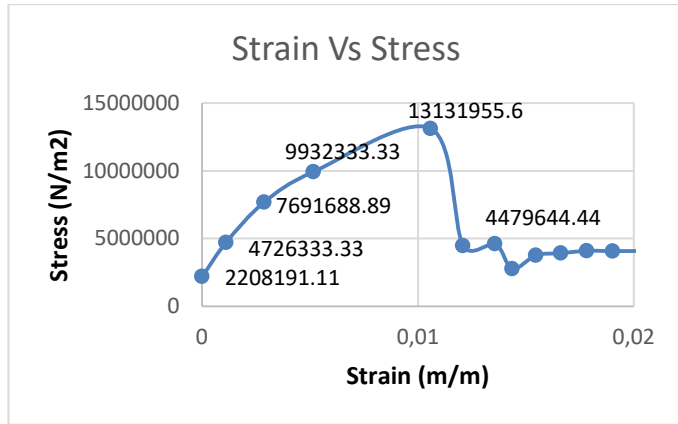
3. Hasil Perhitungan *Tensile Strength* Analisa Mekanik Menggunakan *Differential Mechanical Analyze* (DMA)

Tabel 11. Hasil Perhitungan Nilai *Tensile Strength* PLLA/PEG400 dengan %berat:

95/5; 90/10; 85/15; 80/20

PLLA	<i>Tensile Strength</i> (MPa)
95/5	18.04
90/10	13.58
85/15	13.13
80/20	13.43

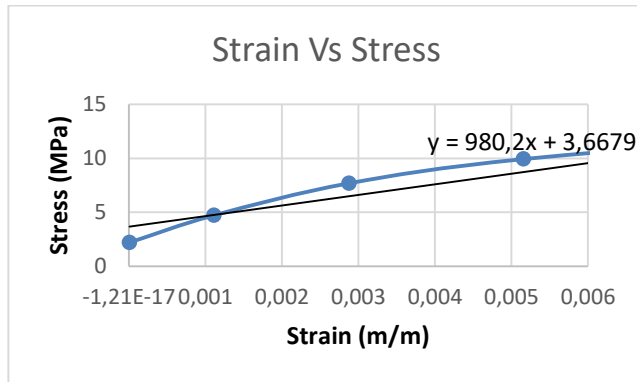
- Contoh perhitungan nilai *tensile strength* untuk PLLA/PEG400 90/10
- *Tensile strength* merupakan nilai *stress* maksimum pada kurva *stress-strain*. Berikut kurva *stress-strain* untuk film PLLA/PEG400 90/10



Gambar 1. Kurva *Stress-Strain* untuk Film PLLA/PEG400 90/10

- Sehingga jika dilihat dari kurva stress-strain untuk biokomposit film PLLA/PEG400 90/10, maka diperoleh nilai *tensile strength* sebesar $13131955.56 \text{ N/m}^2 = 13,13 \text{ MPa}$.
- 4. Hasil Perhitungan *Modulus Young* Analisa Mekanik Menggunakan *Differential Mechanical Analyze* (DMA)
 - Nilai modulus young dapat diperoleh atau dihitung dari slope titik awal hingga titik akhir yang membentuk garis lurus sebelum titik maksimum dari kurva stress-strain. Perhitungan ini menggunakan software Microsoft excel dimana hanya mengambil titik-titik yang membentuk garis lurus sebelum titik maksimum.
 - Contoh cara menentukan nilai modulus young pada hasil uji mekanik film PLLA/PEG400 90/10

1. Mengambil titik-titik yang membentuk garis lurus melalui data yang tersedia pada tabel 7.
2. Menggambar kurva berdasarkan garis-garis yang telah diperoleh menggunakan Microsoft excel.



Gambar 2. Grafik Garis Lurus Stress-Strain Film PLLA/PEG400 90/10

3. Slope dapat ditentukan dengan mengambil nilai gradient pada persamaan garis tersebut. Dari poin 2, diperoleh slope sebesar 980,2 MPa.
4. Berikut hasil nilai modulus young film PLLA/PEG400 100/0; 95/5; 90/10; 85/15; 80/20

Tabel 12. Tabel hasil nilai modulus young biokomposit
PLLA/PEG400 dengan %Berat:
100/0; 95/5; 90/10; 85/15; 80/20

Komposisi	<i>Modulus Young (E)</i> Mpa
100/0	1432.00
95/5	949.10
90/10	980.20
85/15	486.80
80/20	395.90

5. Hasil Perhitungan *Elongation at Break* Analisa Mekanik Menggunakan *Differential Mechanical Analyze* (DMA)

Tabel 13. Hasil Perhitungan Nilai *Elongation at Break* Film
PLLA/PEG400 dengan %berat:
100/0; 95/5; 90/10; 85/15; 80/20

Variabel	<i>Elongation at break (%)</i>
100/0	1.27
95/5	1.64
90/10	1.44
85/15	2.14
80/20	2.21

- Contoh perhitungan nilai elongation at break untuk biokomposit PLLA/PEG400 dengan %berat 90/10.
- Untuk memperoleh nilai *elongation at break* (%EL), dapat menggunakan rumus:

$$\%EL = \frac{(Lf - Lo)}{Lo} \times 100\%$$

$$\%EL = \frac{\Delta L}{Lo} \times 100\%$$

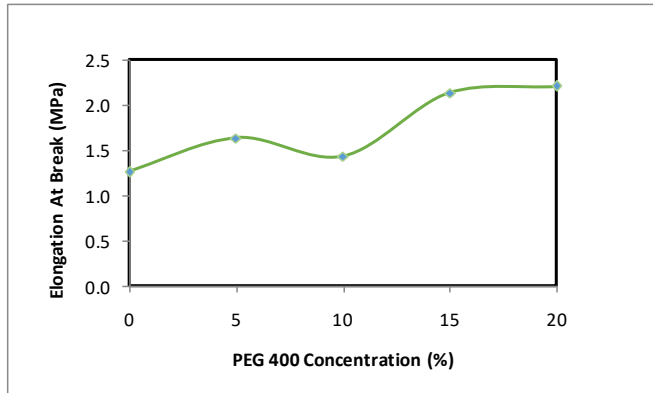
Dimana, :

Lf = Panjang ketika putus (m)

Lo = Panjang Awal Sampel (m)

- Dari rumus tersebut dapat disimpulkan bahwa *elongation at break* merupakan nilai *strain* ketika sampel putus pada kurva *stress strain*. Sehingga nilai *elongation at break* untuk biokomposit PLLA/PEG400 dengan % berat 90/10 :

$$\begin{aligned}\% EL &= \frac{(Lf - Lo)}{Lo} \times 100\% \\ &= \frac{\Delta L}{Lo} \times 100\% \\ &= \frac{0,000287}{0,02} \times 100\% \\ &= 1,436\%\end{aligned}$$



Gambar 3. Kurva *Elongation At Break* PLLA/PEG 400 dengan % Berat: 100/0; 95/5; 90/10; 85/15; 80/20

BIODATA PENULIS



Dian Amalia Widiasih,

Penulis dilahirkan di Blora, 1 September 1994, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Pertiwi I Cepu, SDN Cepu XIV, SMPN 3 Cepu, SMAN 1 Cepu dan D3 Teknik Kimia FTI-ITS. Setelah lulus dari D3 Teknik Kimia FTI-ITS tahun 2015. Penulis mengikuti Seleksi Ujian Masuk Lintas Jalur S1 Genap Teknik Kimia ITS dan diterima di Teknik Kimia FTI-ITS pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP.

02211546000024

Pada tahun terakhir, penulis masuk di Laboratorium Material untuk menyelesaikan tugas Pra Desain Pabrik dan Skripsi. Penulis menyelesaikan tugas Pra Desain Pabrik yang berjudul **“Pabrik Sorbitol dari Sirup Glukosa dengan Proses Hidrogenasi Katalitik”** serta Skripsi yang berjudul **“Studi Properti *Poly(L-Lactic Acid)* (PLLA): Efek Penambahan Jenis Plasticizer”**

Alamat email: dian.amaliawidiasih01@gmail.com

BIODATA PENULIS



Siska Mayangsari,

Penulis dilahirkan di Kediri, 17 Juli 1993, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Perwanida Kediri, SDN Grogol I Kediri, SMPN 1 Grogol Kediri, SMAN 2 Kediri dan D3 Teknik Kimia FTI-ITS. Setelah lulus dari D3 Teknik Kimia FTI-ITS tahun 2015. Penulis mengikuti Seleksi Ujian Masuk Lintas Jalur S1 Genap Teknik Kimia ITS dan diterima di Teknik Kimia FTI-ITS pada tahun

2015 dan terdaftar dengan NRP. 02211546000026

Pada tahun terakhir, penulis masuk di Laboratorium Material untuk menyelesaikan tugas Pra Desain Pabrik dan Skripsi. Penulis menyelesaikan tugas Pra Desain Pabrik yang berjudul **“Pabrik Sorbitol dari Sirup Glukosa dengan Proses Hidrogenasi Katalitik”** serta Skripsi yang berjudul **“Studi Properti *Poly(L-Lactic Acid)* (PLLA): Efek Penambahan Jenis *Plasticizer*”**

Alamat email: siskamayang93@gmail.com